

**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

Börje Lindén, Arne Gustafson, Gunnar Torstensson och Erik Ekre

**Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning
på en grovmojord i södra Halland med handels-
och stallgödslade odlingssystem med och utan
insådd fånggröda**

Ekohydrologi 30

Uppsala 1993

Avdelningen för vattenvårdslära

**Swedish University of Agricultural Sciences
Division of Water Quality Management**

ISRN SLU-VV-EKOHYD--30--SE
ISSN 0347-9307

Mineralkvävedynamik och växtnäringssläckning på en grovmojord i södra Halland med handels- och stallgödslade odlingssystem med och utan insådd fånggröda

Börje Lindén, avd. för växtnäringsslära, SLU, Uppsala
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson, avd. för vattenvårdslära, SLU, Uppsala
Erik Ekre, Hallands läns hushållningssällskap, Tönnersa försöksgård

Abstract. During a three-year period studies were made of soil nitrogen dynamics, the utilization ratio of nitrogen by crops, and the leaching of nitrogen by tile drainage water in a sandy soil in south-western Sweden. The field was divided into ten separate tile-drained plots, each with an area of 0.16 hectare. The amount of drainage water from each plot was measured and water samples were collected twice a month and weekly during flood periods. The water samples were analyzed for pH, electrical conductivity, nitrogen, phosphorus and potassium.

The fertilizer regimes were: Unfertilized, commercial fertilizer according to general recommendations (90-110 N kg/ha), liquid manure (pig slurry) in spring or autumn (90-110 tot. N kg/ha) supplemented with commercial fertilizer applied in the spring (45-55 N kg/ha) and treatments with double amount of liquid manure applied in spring or autumn also supplemented with commercial fertilizer. All treatments were grown with and without a catch crop except the treatments with autumn application of manure that are required by law to be followed by a green cover during the winter.

During the first two years, Italian ryegrass, and in the third year perennial ryegrass, was grown as catch crop. The ryegrass was undersown in the main crop. The crop rotation was: Oat (1989), spring wheat (1990) and barley (1991)

The treatments with ryegrass were ploughed in the spring whereas the other treatments were ploughed in the autumn after stubble cultivation following harvest.

The catch crop reduced the leaching substantially in the single dosed treatments with only commercial fertilizer and in the combined system with both manure and commercial fertilizer. The reduction was as high as 74 and 78 %, respectively, but in the treatment with a double dose of pig slurry the reduction stopped at 50 %. When pig slurry was applied in the autumn, the losses were doubled compared to spring application in spite of the catch crop.

The unfertilized treatment (8 years) without a catch crop had 50 % less leaching compared with treatments with spring-applied normal doses of fertilizers without a catch crop.

The yield in the unfertilized treatment was only 34% of the yield in the treatment with a normal dose of commercial fertilizer. The treatment with a single dose of manure and half a dose of commercial fertilizer, both applied in the spring, gave 7 % higher yield but a more lodged stand compared with the treatment with a single dose of commercial fertilizer. The last two treatments had the best nitrogen utilization ratio (82 % of applied N was taken away by the grain yield). A double dose of manure lowered both the yield and the nitrogen utilization ratio independent of time of application. The main reason for this was higher lodging tendency and higher leaching values.

The catch crop lowered the yield (7-24 %) both in 1989 and 1990 in the treatment with spring-applied fertilizers. Also the fertilizer utilization ratio was lower in the catch crop treatments. But in 1991 the differences were smaller. The main reason for this seems to be a delivery by mineralization from organic nitrogen from the earlier ploughed-in catch crops. Important reasons for the drop in yield in the treatments with a catch crop seem to be competition with the main crop and large deficiency of mineral nitrogen in the early spring compared with treatments without a catch crop. Any net immobilization of nitrogen following the ploughing-in of the catch crop could not be verified.

At the time of yellow ripeness for the cereals, the intersown ryegrass had taken up 7-14 N kg/ha in the standing crop (above ground) and in the middle of November 11-90 N kg/ha, most in treatments where the nitrogen supply was good, such as in treatments with autumn application of manure or in treatments where the frequent use of manure had enlarged the mineralization capacity of the soil. In late autumn the dry matter content of the catch crop varied between 800-2700 kg d.w. per hectare. From late autumn to early spring the N content of the ryegrass changed only very little.

The catch crops decreased the amounts of mineral nitrogen in the soil (0-90 cm) from the time of yellow ripeness to late autumn except in the treatments with autumn-applied manure. In treatments without a catch crop, the nitrogen mineralization increased the storage of mineral nitrogen throughout the autumn, leading to a higher leaching during the following winter compared with treatments with a catch crop. In treatments with a catch crop, the mineral nitrogen storage continued to be fairly small until the time of spring ploughing. During the time from spring ploughing to the time of emergence of the crop, the storage of mineral nitrogen increased more in treatments with a catch crop than in corresponding treatments without a catch crop.

Yearly application of manure enlarged the delivery of mineral nitrogen from the soil compared with to treatments without manure. The delivery was also lowered in the treatment without any fertilizer application. Calculations show that a frequent manure addition gave an enlarged nitrogen leaching magnitude, as well as increased ammoniavolatilization and denitrification.

In the autumn-ploughed treatments without a catch crop, the net mineralization of nitrogen from the time of yellow ripeness to early spring was higher than in the treatments with catch crop and spring ploughing. However, during the growing season, the mineralization was higher in the treatments with a catch crop and spring ploughing. Thus, it seems as if autumn ploughing stimulates the mineral N-mobilization during the winter. In treatments with a spring ploughed catch crop, the net mineralization during the growing season is enlarged.

The amounts of nitrogen mineralized also increased during the years, suggesting an additional influence of several years duration given by the ryegrass residues.

The combination of a catch crop and spring ploughing therefore seems to both diminish leaching losses through retention of nitrogen in plants and plant residues, and further offers a possibility to govern nitrogen processes in the soil in such a way that nitrogen to a greater extent will be released when it can be utilized by the crops.

More comprehensive conclusions are given after the presentation in Swedish.

BAKGRUND

Kväeutlakningen från åkermark är en av flera bidragande orsaker till de rapporterade algblomningarna och därav följande döda havsbottnar, som under längre eller kortare perioder förekommer längs kusterna (DSH 1989:2). Speciellt har situationen i Laholmsbukten blivit uppmärksammas (Rosenberg *et al.*, 1990). Jordbruket i södra Halland kännetecknas av intensiv växtodling med stor andel vårsådda grödor. De lätta jordarna och den höga nederbörden med åtföljande stor avrinning medför att lätttrörliga växtnäringsämnen löper stor risk att utlakas till yt- och grundvatten (Brink & Gustavsson, 1984; Fleischer *et al.*, 1989).

Den omfattande djurhållningen har många gånger medfört att mycket kreatursgödsel spridits på en förhållandevis liten areal (Joelsson & Pettersson, 1982). En del av gödseln har av utrymmes- och arbetstekniska skäl spridits under hösten och vintern. Vid denna tidpunkt har det oftast inte funnits någon växande gröda som kunnat tillgodogöra sig den del av kvävet i kreatursgödseln som är lättillgänglig för växtupptag eller utlakning. Återkommande tillförsel av stallgödsel leder till ökad kväveleverans från marken (Voelcker & Hall, 1903), inte bara under växtsäsongen utan även under de kalla årstiderna. Detta ökar också kväeutlakningsrisken.

För att närmare studera utlakningsförhållandena på plats genomfördes på en sandjord vid Mellby i södra Halland från hösten 1983 till hösten 1988 ett utlakningsförsök med flytgödseltillförsel (Torstensson, Gustafson, Lindén och Skyggeson, 1992). I försöket jämfördes spridning av flytgödsel, dels på hösten och dels före vårbruket, med tillförsel av handelsgödselkväve eller helt ogödslat. Även effekterna av en eftersädd fånggröda (höstråg) ingick. Minst blev utlakningen efter fånggrödan. Helt ogödslat gav således större utlakning. Störst blev denna efter höstspridd flytgödsel.

För att motverka kväeutlakningen har det införts bestämmelser om höst- och vinterbevuxen mark (SJVFS:1991:72), varigenom mineralkväve, som finns i marken på hösten eller då bildas genom mineralisering, kan tas tillvara. År 1994/95 skall åkerarealen till 60 % utgöras av höst- och

Tabell 1. Försöks- och gödslingsplan vad gäller fånggrödor samt stall- och handelsgödselkväve.

Led	Ruta	Flyt-gödsel	Handels-gödsel	Tidpunkt för flytgödsel-spridning	Fånggröda	Plöjnings-tidpunkt
A	7	0 STG	0 N		-	Höst
eB	5	0 STG	0 N		Rajgräs	Vår
C	2	0 STG	1 N		-	Höst
D	10	0 STG	1 N		Rajgräs	Vår
E	8	1 STG	1/2 N	Tidig höst	Rajgräs	Vår
F	3	2 STG	1/2 N	Tidig höst	Rajgräs	Vår
G	1	1 STG	1/2 N	Vår	-	Höst
H	6	1 STG	1/2 N	Vår	Rajgräs	Vår
I	9	2 STG	1/2 N	Vår	-	Höst
J	4	2 STG	1/2 N	Vår	Rajgräs	Vår

Med 1 STG avses en giva av svinflytgödsel som motsvarar årsproduktionen vid maximalt tillåten djurtäthet (10,5 slaktsvinsplatser/ha)

Med 1 N avses normalt rekommenderad giva av handelsgödselkväve. Givan anpassades till växtslaget (jmf. tabell 4).

vinterbevuxen mark i K-, L-, M- och N-län och till 50 % i övriga delar av Götaland. I den mån detta ej kan uppfyllas med ordinarie grödor, krävs odling av fånggrödor (SFS 1991:1295).

För att belysa dels de långsiktiga effekterna på mark och miljö av odling av fånggröda samt med åren återkommande stallgödseltillförsel och dels konsekvenserna av de nya bestämmelserna enligt skötsellagen (SFS 1991:1295) har försöket fortsatt med medel från Lantbruksstyrelsen. Härvid har det fått en delvis ändrad uppläggning. I denna rapport redovisas resultat från åren 1989-91. Därefter har försöket fortsatt med oförändrad plan.

MÅL

Projektets mål var att belysa gödselkvävet effektivitet, grödornas kväveförsörjning och avkastning samt N-utlakningen med avseende på:

- odling av fånggrödor, som insås i huvudgrödan på våren.
- flytgödseltillförsel i jämförelse med användning av handelsgödsel.
- särskiljande av flytgödselns ettårseffekt och långsiktiga verkan, varvid effekterna efter flytgödseltillförsel jämföres med verkan i led med enbart handelsgödselkväve.
- tillförsel av flytgödsel på hösten (om marken hålles bevuxen) i jämförelse med vårspridning.
- två gödslingsintensiteter med avseende på flytgödselspridningarna, både höst och vår.

MATERIAL OCH METODER

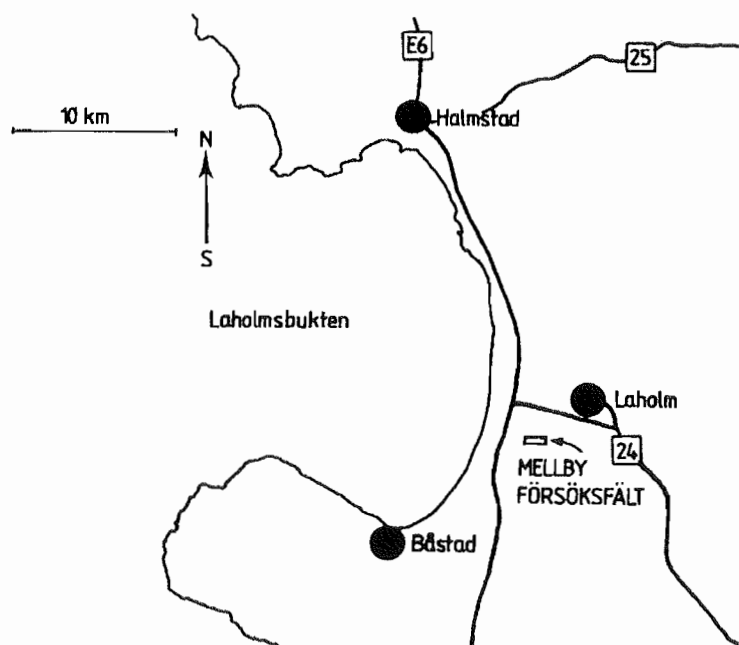
Försöksplan

De tillämpade gödslingsystemen var: (1) helt utan kvävegödsel, (2) endast handelsgödsel och (3) kombinationer av flytgödsel och handelsgödsel. Två olika spridningstider (höst och vår) och intensitetsnivåer tillämpades för flytgödseln, kompletterat med halv giva av handelsgödselkväve på våren. Gödslingsystem med flytgödselspridning på hösten hade alltid fånggröda för att uppfylla föreskrifterna i skötsellagen. Övriga gödslingsystem genomfördes med och utan fånggröda. I leden utan fånggröda tillämpades höstplöjning och i leden med fånggröda vårplöjning (tabell 1).

Försöksfältet

Försöksfältet som anlades hösten 1982 har tidigare beskrivit av Torstensson *et al.* (1992) och ligger på Forslunds gård, ca 5 km sydväst om Laholm i södra Halland (figur 1). Jordarten är i matjorden måttligt mullhaltig, lerig, sandig grovmo och i alven sandig grovmo som praktiskt taget är helt mull- och lerbri (tabell 2a). Inom 0-30 cm djup innehåller jorden 1,7 % totalkväve, motsvarande ca 7 ton kväve per hektar. På ett djup av 1,0-1,2 meter övergår grovmon tämligen tvärt i mellanlera av glaciärs ursprung, med ganska stort inslag av mo och sand i den övre delen av leran. Resultaten från en undersökning av markens pH-värden samt fosfor- och kaliumtillstånd för olika markdjup utförd i september 1988 presenteras i tabell 2b. Inga extremt låga pH-värden noterades. Mest fosfor innehöll matjorden medan alven var fosforfattigare. Fosforhalterna i matjorden motsvarade P-AL-klass V, alltså ett mycket gott fosfortillstånd, och i alven klass II - III, dvs svag till måttlig fosfortillgång. Kaliumtillgången var likaledes bättre i matjorden och dålig i övre alven varefter den åter ökade. Kaliummängderna i matjorden motsvarade dock bara K-AL-klass II - III, alltså något svagt tillstånd. I alvskikten rådde klass I - II.

Stallgödsel hade före försöksstarten 1983 regelbundet tillförts fältet åtminstone sedan 1950-talet. Gödslingar och grödor under åren 1984-1988 är beskrivna av Torstensson *et al.* (1992).



Figur 1. Mellby-försökets geografiska belägenhet.

Försöksdränering och avrinningsmätning

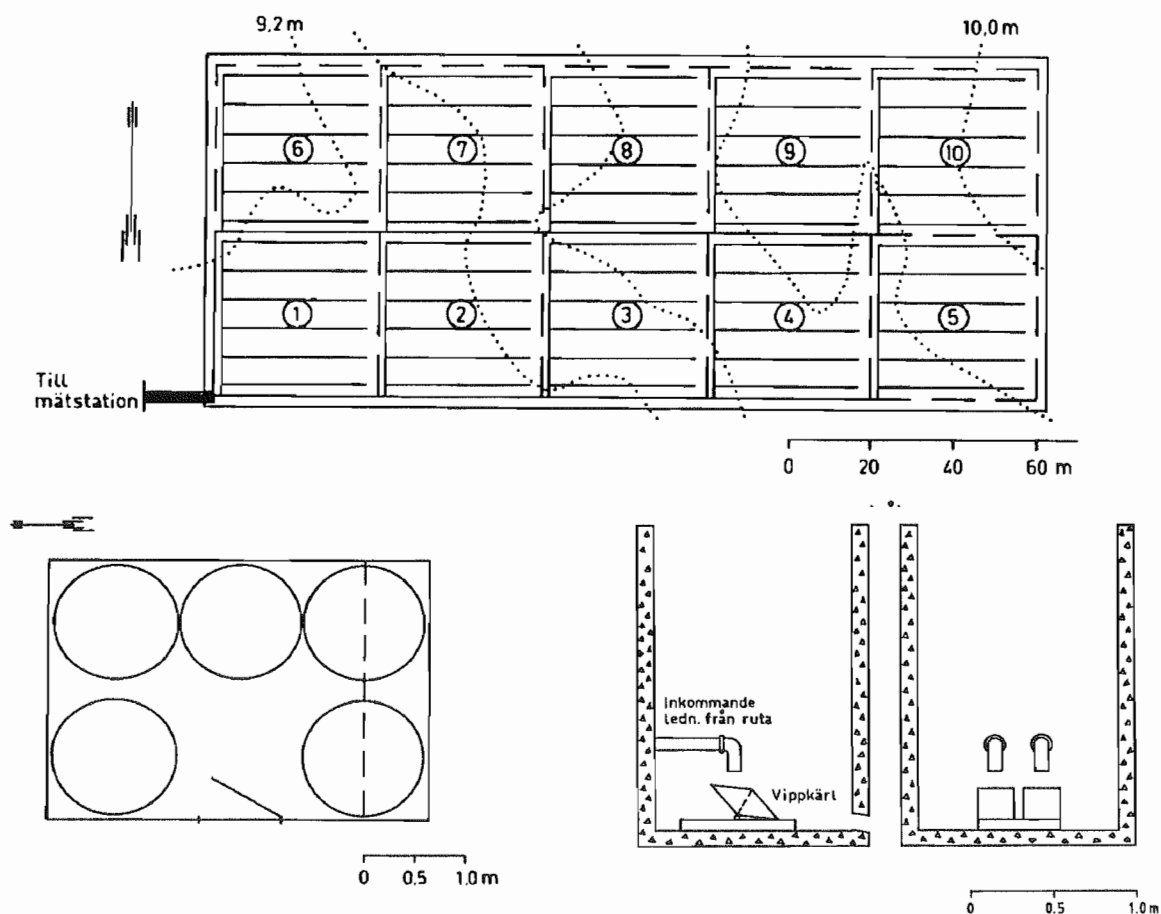
Försöksområdet består av 10 rutor om vardera 0,16 ha med formatet 40x40 meter (figur 2). Varje ruta har ett separat dräneringssystem, dikesdjupet är i medeltal 0,9 meter. Runt hela försöksblocket går en avskärande skyddsdränering utanför de yttre rutgränserna. Från respektive ruta leds vattnet i en tät ledning till en mät- och provtagningsstation som är belägen ca 100 meter väster om försöket (figur 2). Ledningarna mynnar två och två i mätbrunnar av betong (Ø1200 mm). Brunnarna är överbyggda med ett enkelt varmbonat hus med värme och belysning.

Tabell 2a. Mekanisk jordartssammansättning (viktsprocent) i matjord, alv och underliggande lera (150-170 cm), medelvärden av rutorna 2, 8 och 10.

Djup (cm)	Ler	Mjåla	Mo	Sand	Mull
0 - 20	5,6	6,0	36,6	46,4	4,8
20 - 40	6,1	0,4	45,2	45,1	2,6
40 - 60	1,5	1,8	54,6	41,0	1,1
60 - 80	1,9	0,5	44,7	52,1	0,6
80 - 100	1,6	1,1	67,9	28,8	0,4
150 - 170 (lera)	38,8	14,3	30,7	16,0	0,0

Tabell 2b. Markens pH-värden samt fosfor- och kaliumtillstånd inom olika djup i september 1988, dvs före försöksperiodens början.

Led	Ruta	Markdjup (cm)	pH H ₂ O			P-AL (mg/100 g jord)			K-AL (mg/100 g jord)		
			0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
A	7		6,0	6,0	5,6	24,2	3,2	3,2	10,5	4,0	7,5
B	5		5,8	6,0	6,3	28,2	5,8	4,4	10,0	3,5	7,5
C	2		5,8	5,9	6,0	24,5	4,5	3,0	9,0	2,5	4,0
D	10		5,9	6,1	6,3	24,7	3,0	4,4	8,0	2,5	7,0
E	8		6,1	6,1	6,0	27,8	2,6	2,9	8,5	2,5	3,0
F	3		6,0	6,2	6,2	32,0	4,2	2,4	10,5	3,5	4,5
G	1		5,7	5,6	5,9	23,2	2,7	2,2	9,0	3,0	3,5
H	6		5,9	5,9	6,1	22,3	2,6	3,9	8,5	3,5	11,0
I	9		6,2	6,2	6,1	26,4	2,6	2,6	7,5	2,5	7,0
J	4		6,2	6,4	6,4	32,4	4,4	5,4	9,5	3,0	8,5



Figur 2. Försöksrutor med dräneringssystem och skiss över mätstationen med brunnar och vippkärl.

Den avrunna vattenkvantiteten från varje ruta mättes med dubbelsidiga vippkärl (figur 2). Antalet vippningar räknades när halvorna växelvis fylldes och tömdes. Varje halva rymmer 3-4 liter. Vippkärlens exakta volym bestämdes genom kalibrering minst två gånger per år. Vippslagen registrerades elektroniskt med en automatisk datalogger som registrerade dygnsvis avrinning.

Klimatdata

För försöket har anlagts en särskild klimatstation med tillhörig datalogger varför alla behövliga klimatdata är lokala.

Odlingsåtgärder, växtföljd och gödsling

I tabell 3 redovisas växtföljd, grödutveckling och tidpunkter för olika odlingsåtgärder. Grödan 1988, dvs året före det första av de tre redovisade åren, var korn. Rajgräs såddes in första gången våren 1989. I led H hade höstråg såtts som fånggröda hösten 1988.

I leden utan fånggröda gjordes stubbearbetning direkt efter skörd, följt av plöjning senare på hösten. Fånggrödeleden stubbearbetades och plöjdes i direkt anslutning till vårsådden. Vårplöjning genomfördes dock ej 1989, då alla led (utom H) höstplöjts 1988. I led H harvades våren 1989 fånggrödan (höstråg) upp i samband med vårbruket.

Faktisk kvävetillförsel med stall- och handelsgödsel samt totalgivor av fosfor och kalium framgår av tabell 4. Handelsgödselkvävet tillfördes som kalkammonsalpeter. I led E-H kompletterades flytgödsels P- och K-innehåll med handelsgödsel.

Tabell 3. Grödor, datum för gödsling och andra odlingsåtgärder samt tidpunkter för olika utvecklingsstadier hos grödnarna.

Åtgärd, utvecklingsstadier mm.	Odlingsår: Huvud- gröda: Sort:	1989 Havre Elin	1990 Vårvete Dragon	1991 Korn Golf	1992 Potatis Ukama
Höstgödsling:					
Flytgödsel (led E och F)		16/9-88	20/9-89	11/10-90	18/9-91
Vårgödsling:					
Flytgödsel, (led G, H, I, och J)		19/4	7/4	9/4	-
Handels gödsel		19/4	7/4	12/4	-
Huvudgröda:					
Sådd		20/4	9/4	13/4	-
Uppkomst		2/5	17/4	30/4	-
Axgångens (vippgångens) huvudfas		26/6	21/6	26/6	-
Gulmognad		25/7	8/8	31/7	-
Skörd		18/8	24/8	22/8	-
Fånggröda (höstråg, led H)					
Sådd		26/8-88			
Fånggröda (rajgräs):					
Slag	Italienskt	Italienskt	Engelskt		-
Sort	Svita	Svita	Tore		-
Utsädesmängd (kg/ha)	9	9	7		-
Sådd	22/4	10/4	13/4		-
Stubbearbetning:					
Led A,C,G och I	7/9	7/9, 13/9	2/9		-
Höstplöjning:					
Led A,B,C,D,E,F,G,I och J	4/11-88				
Höstplöjning:					
Led A,C,G och I	20/11	20/11	29/11		-
Uppharvning av fånggröda (höstråg, led H)	19/4				
Vårplöjning: (nedbrukning av fånggröda)					
Led B,D,E,F,H och J	-	6/4	10/4	15/5 ^a	

^a Bearbetning med tallriksredskap den 13/5, två dagar innan plöjning.

All handels gödsel bredspreddes och myllades i samband med vårbruket. Flytgödseln spreds med släp-slangsspridare med 37,5 cm slangavstånd. I led med fånggröda spreds (fr o m hösten 1989) flytgödseln i den växande fånggrödan. I led E och F, med höstspredning, nedmyllades gödseln således inte efter spridningen, eftersom spridning vid denna tidpunkt ska göras i växande gröda. I led med vårspridning nedmyllades gödseln samma dag med tallriksharv, varefter leden med fånggröda plöjdes.

Provtagningar och analyser

Vattenprov

Prov på dräneringsvattnet från alla rutor togs som regel var fjortonde dag vid avrinning. Under intensiva avrinningsperioder skedde ofta provtagning en gång per vecka. Proven skickades som företagspaket och nådde eget laboratorium inom ett dygn. I vattnet analyserades följande: pH, ledningstal, nitrat-, ammonium- och totalkväve, fosfat- och totalfosfor samt kalium. Provbehandling och analysmetoder finns beskrivna av Ulén (1984).

Flytgödsel

Den i försöket använda flytgödseln var gödsel från slaktsvin (Tönnersa gård). Efter omrörning av gödseln i behållaren uttogs ett prov, vilket omgående skickades för vägledande bestämning av ammonium- och totalkväve. Resultatet från detta prov användes vid doseringen av gödseln. Vid spridningen uttogs ett samlingsprov med delprov från varje lass för slutlig bestämning av utspridd mängd växtnäring. På samlingsprovet analyserades torrsubstans, ammonium- och totalkväve, totalfosfor och kalium.

Tabell 4. Gödselgivor av kväve, fosfor och kalium (kg/ha). För fosfor och kalium anges total årlig tillförsel med flyt- och handelsgödsel.

Gödselslag	Odlingsår: Gröda:	1989 Havre	1990 Vårvete	1991 Korn	1992 Potatis	Medeltal 1989-91
Kväve (N) i flytgödsel						
Led E:	Total-N	65	82	87	97	78
	NH ₄ -N	48	66	74	73	63
Led F:	Total-N	130	164	175	194	156
	NH ₄ -N	97	132	147	145	125
Led G:	Total-N	88	115	90	-	98
	NH ₄ -N	55	83	76	-	71
Led H:	Total-N	88	115	90	-	98
	NH ₄ -N	55	83	76	-	71
Led I:	Total-N	177	185	179	-	180
	NH ₄ -N	109	133	152	-	131
Led J:	Total-N	177	190	179	-	182
	NH ₄ -N	109	137	152	-	133
Kväve (N) i handelsgödsel:						
Led A och B		0	0	0	-	0
Led C och D		90	110	90	-	97
Led E-J		45	55	45	-	48
Fosfor (P):						
Led A-D		20	20	20	-	20
Led E		21	22	22	-	22
Led F		21	24	23	-	23
Led G		32	38	22	-	31
Led H		32	38	22	-	31
Led I		44	44	23	-	37
Led J		44	45	23	-	37
Kalium (K):						
Led A-D		64	65	65	-	65
Led E		72	81	79	-	77
Led F		80	96	92	-	89
Led G		75	74	93	-	81
Led H		75	74	93	-	81
Led I		86	67	120	-	91
Led J		86	68	120	-	91

Kväve upptaget i huvud- och fånggröda

Ovanjordiskt växtmaterial klipptes vid markytan inom 8 slumpmässigt fördelade kvadrater om 0,25 m², motsvarande 2 m²/ruta. Delproven sammanslogs fyra och fyra till två samlingsprov per ruta. Stråsädesgrödorna provtogs vid gulmognad. Totalkväveinnehållet bestämdes genom reguljär Kjeldahlanalys. Kväveinnehållet i rötterna antogs utgöra 25 % av grödans totala kväveinnehåll (jmf. Jansson, 1966; Hansson *et al.*, 1987). Rajgräset provtogs på motsvarande sätt vid stråsädesgrödornas gulmognadsstadium och samtidigt med jordprovtagningarna i november och tidigt på våren. Proven torkades, vägdes och analyserades med avseende på totalkväve. Rötternas innehåll av kväve antogs på senhösten och våren utgöra 25 % av totala innehåll (Jensen, 1991a).

Skördar, skörderester och kvävebortförsel med grödan

Skördens storleken bestämdes rutvis. Tre drag tröskades med försökströska tvärs över dräneringsledningarna. Kärnskördens vägdes och separata prov för analys uttogs från varje tröskdrag. Halmen bortfördes i alla led. Kväveinnehållet bestämdes med reguljär Kjeldahlanalys och fosforinnehållet med ICP-teknik efter uppslutning i konc. svavelsyra.

Mineraliskt kväve i marken

För bestämning av markprofilens innehåll av mineraliskt kväve (ammonium- och nitrat-N) togs i alla led jordprov vid följande tillfällen under året: tidigt på våren efter viss upptorkning, vid uppkomst, stråsådens gulmognad, i september eller oktober och i mitten av november. I flytgödslade led togs prov också omedelbart före och efter tillförseln av flytgödsel. Proven togs till 90 cm djup och indelades i tre skikt (0-30, 30-60, 60-90 cm). Vid provtagningen efter flytgödseltillförsel användes s.k. ramprovtagare för de översta 5 cm av matjorden (Lindén, 1982), i matjorden därunder Trekanten-borr (Lindén, 1977) och i alven Ultuna-borr (Lindén, 1979). I matjorden uttogs 24 delprov (efter flytgödselspridning 40) och i alvskikten 12 delprov per led. Borrsticken slogs samman till skiktvisa samlingsprov. Jordproverna djupfrystes och extraherades med 2M KCl för bestämning av ammonium- och nitratkväve. Analysvärdena omräknades till kilogram kväve per hektar med beaktande av markskiktens volymvikter och aktuella vattenhalter.

Växttillgängligt jord- och gödselkväve samt kvävemineralisering

I syfte att bestämma dels flytgödselns förstaårseffekt och dels odlingssystemens fleråriga inverkan på grödornas kväveförsörjning utlades i alla led ettåriga smårutor, "ON-parceller", som ej tillfördes gödselkväve under året i fråga. I flytgödselleden (E-J) anlades två slags ON-parceller:

Enkel-ON-parceller - utan tillförsel av handelsgödsel-N

Dubbel-ON-parceller - utan flytgödsel och utan handelsgödsel-N.

I led A-D utlades bara enkel-ON-parceller. Grödans kväveupptag i enkel-ON-parcellerna i de rena handelsgödselkväveleden avspeglar tillgången på växttillgängligt jordkväve under inverkan av tidigare års odlingsåtgärder. I led E-J tillfördes enkel-ON-parcellerna flytgödsel. N-upptaget i dessa belyser därmed summaeffekten av tidigare års åtgärder och det aktuella årets flytgödselgiva. Grödornas kväveupptag i dubbel-ON-parcellerna avspeglar däremot renodlat N-efterverkan av tidigare års gödslingar med flera åtgärder.

Två enkel- resp. dubbel-ON-parceller om vardera ca 35 m² utlades i varje "ordinarie" ruta. I led E och F anlades dubbel-ON-parcellerna på hösten före flytgödselspridningen, medan ON-parcellerna i övrigt lades ut på våren före gödslingarna. Samtliga utnyttjades fram till stråsådesgrödornas gulmognadsstadium. ON-parcellerna flyttades varje år. Härigenom kom de alltid att ha samma odlingsbakgrund som de "ordinarie" rutorna. Rajgräs såddes inte i ON-parcellerna. Jordprover för bestämning av mineral-N uttogs enligt beskrivningen ovan från utläggning till gulmognad. Grödan provtogs vid gulmognad enligt ovan för bestämning av kväveupptaget. Provtagningarna utnyttjades bl.a. för beräkning av kvävemineraliseringen under växtsäsongen enligt följande formel:

$$N_{\text{net}} = N_g + N_{\text{mg}} - N_m + N_u$$

där N_{net} = beräknad nettomineralisering av kväve (eller rättare sagt ett nettotillskott av kväve) under perioden,

N_g = totalkväve i gröda vid periodens slut,

N_{mg} = mineral-N inom 0-90 cm markdjup vid periodens slut,

N_m = mineral-N inom 0-90 cm markdjup vid periodens början,

N_u = beräknad kväveutlakning under perioden.

Formeln användes även för beräkning av kvävemineraliseringen under andra årstider, då motsvarande provtagningar i de "ordinarie" rutorna utnyttjades.

Beräkning av utlakningsförluster och periodvisa medelkoncentrationer

Utlakningsförluster

De vid transportberäkningen använda avrinningstalen för dräneringsvatten är baserade på de logger-registrerade dygnsavrinningarna från respektive led.

Genom rätlinjig interpolering av analyserade koncentrationer beräknades för varje ruta ett koncentrationsvärde för varje dygn under perioden. Dessa värden multiplicerades med dygnsavrinningen för att erhålla dygnstransport. Dygnstransporterna summerades sedan till månads- och årstransporter avseende agrohydrologiska år, 1/7-30/6.

Periodvisa medelkoncentrationer

För periodvis jämförelse av avrinnande vattens koncentration av olika ämnen användes s.k. integrerad medelkoncentration. Den beräknades på följande sätt: avrinning och beräknad transport summerades var för sig under perioden i fråga varefter den summerade transporten dividerades med summerad avrinning. Därvid erhöles ett mått på den under perioden avrunna vattenmassans medelkoncentration. För pH och ledningstal framräknades aritmetiska medelvärden. Oftast var den tillämpade integreringsperioden ett agrohydrologiskt år. I de figurer som visar inomårsvariationer av koncentrationer är perioden en månad.

RESULTAT OCH DISKUSSION

Skördar, kväve- och fosforbortförsel samt kväve- och fosforutnyttjande

Skördar

Ledvisa kärnskördar för åren 1989, 1990 och 1991 redovisas i tabell 5. De två första åren blev kärnsköörden i de gödslade leden med rajgräs 7-24 % lägre än i motsvarande led utan fånggröda, men med stora skillnader mellan åren. I de normalgödslade leden med fånggröda (D och H) blev skördebortfallet år 1990 ca 1400 kg/ha, medan skillnaden i avkastningen 1991 blev -180 och +300 kg/ha jämfört med motsvarande led utan fånggröda (C resp. G). Resultaten tyder på att den skördesänkande effekten, som troligen uppkom genom rajgräsets konkurrens med huvudgrödan och genom lägre mineralkvävetillgång på våren, med åren uppvägdes av ökad kvävemineralisering (jmf. tabell 9 och 10).

År 1989 var det första året då fånggröda odlades varför effekter av nedbrukad fånggröda, t ex kväveimmobilisering, och vårplöjning inte påverkat resultaten. Däremot kan konkurrens från det insådda rajgräset ha haft betydelse. Ett undantag är dock led H, med enkel stallgödselgiva och fånggröda. Här såddes höstråg som fånggröda höstarna 1984-88 (Torstensson *et al.*, 1992). Vid en provtagning i slutet av mars 1989 innehöll rågen närmare 50 N kg/ha. Rågens kväveupptag minskade kraftigt mineralkvävemängden i marken jämfört med övriga led (tabell 9 och figur 5 - 7). Omedelbart före sådden 1989 nedbrukades rågen ytligt med tallriksharv vilket resulterade i dålig uppkomst och bidrog till den låga skörden.

Efterföljande år, 1990, uppkom en påtaglig skördesänkning i leden med fånggröda jämfört med motsvarande led utan fånggröda. En bidragande orsak kan vara de mycket små mineralkväveförråden tidigt på våren i fånggrödeleden.

Det sista året, 1991, hade skördeskillnaderna mellan de kvävegödslade leden med och utan fånggröda utjämnats och var i två av fånggrödeleden de omvända. Mineralkväveförråden tidigt på våren var detta år större än våren 1990 (tabell 9.). En ökning med åren av kvävemineraliseringen till följd av upprepad nedbrukning av fånggröda är också trolig (jmf. tabell 9 och 10). Skillnader i matjordens vattenhalt (hämtat från mineralkväveproven), jämfört med året innan, under tiden närmast efter sådden kan ha inverkat på kväveomsättningen.

Att, som ibland framförts, nettoimmobilisering av kväve efter nedbrukning av rajgräs skulle vara en av orsakerna till skördebortfallet har inte kunnat beläggas. Detta framgår bl.a. av att ökningen av mineralkväveförråden från tidig vår till uppkomsten genom kvävemineralisering var minst lika stor i fånggrödeleden som i leden utan fånggröda (jmf. tabell 9). Däremot tycks skördebortfall i led med fånggröda (tabell 5) sammanfalla med skillnader i mineralkväveförrådets storlek (mineralkväveunderskotten) tidigt på våren (tabell 9) jämfört med motsvarande led utan fånggröda.

Vårplöjning jämfört med plöjning på hösten kan också i sig ha medverkat till torrare förhållanden i matjorden vilket kan ha påverkat såväl gröda som kvävemineralisering negativt.

Medelskördarna för åren 1989, 1990 och 1991, då havre, vårvete resp. vårkorn odlades är, av skäl som redovisats ovan, inte helt jämförbara vad gäller led med resp. utan fånggröda. Även med tanke på de förändringar, bl.a. av mineraliseringskapaciteten, som tycktes ske i fånggrödeleden (jmf. tabell 9 och 10) bör flerårsmedelvärdena allmänt tolkas med försiktighet.

I led C, utan fånggröda och med tillförsel av enbart handelsgödselkväve erhöles en medelkärnskörd på 5410 kg/ha (tabell 5). Led A, utan vare sig handelsgödselkväve eller flytgödsel sedan försökets start 1984 och utan fånggröda, gav i medeltal ca 34 % av avkastningen i led C. Medan avkastningen i led C tenderade att öka med åren, avtog den i led A. Led G, med en "enkel" giva flytgödsel på våren och med halva mängden handelsgödselkväve jämfört med led C, gav i medeltal 7 % högre kärnskörd än led C, båda utan fånggröda.

Dubbel flytgödselgiva på våren, led I, gav sämre avkastning än enkel giva vid denna tidpunkt (led G). Samma var förhållandet i motsvarande led med fånggröda (J resp. H). Skördesänkningen i jämförelse med enkel flytgödselgiva på våren synes främst bero på alltför kraftig vegetativ tillväxt med ökad liggsädesbildning (tabell 5) orsakad av alltför stor kvävetillgång, i synnerhet som även handelsgödselkväve tillförts (48 N kg/ha som årsmedeltal).

I led B, också utan gödselkväve sedan 1984 men med rajgräs som fånggröda sedan 1989, blev skörden i medeltal 2330 kg/ha. Här uppvisade skördeutvecklingen under de båda senare åren inte samma avtagande tendens som i led A, vilket kan bero på att kväve, som annars skulle ha förlorats, via fånggrödan förbättrat huvudgrödans N-försörjning.

Led E, med fånggröda och med en enkel flytgödselgiva under tidig höst, gav de båda senare åren i genomsnitt drygt 1000 kg/ha lägre skörd än vid spridning av denna flytgödselgiva på våren och med fånggröda (H). Fördubblad flytgödselgiva på hösten (led F) gav i medeltal ca 200 kg högre skörd än led H.

Tabell 5. Skördar och stråstyrka.

Led		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Flytgödsel											
Spridningstid											
Mängd		0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	Tidig höst 1 STG	2 STG	Vår 1 STG	1 STG	2 STG	2 STG
Handelsgödsel		0 N	0 N	1 N	1 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Fånggröda		-	Rajgräs	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Rajgräs	-	Rajgräs
Plöjningstid		Höst	Vår	Höst	Vår	Vår	Vår	Höst	Vår	Höst	Vår
Skördar (kärna, kg/ha, 15 % vattenhalt) och medeltal (n=3) samt relativtal (led C = 100).											
1989	Havre	2170	2920	4400	4080	3360	4220	5010	3190	4300	3780
1990	Vårvete	2100	1350	5940	4520	3340	4710	6570	5140	5970	4970
1991	Korn	1240	2720	5900	5720	5600	6180	5850	6150	5130	5150
Medeltal, 89-91		1840	2330	5410	4770	4100	5040	5810	4830	5130	4630
Relativtal		34	43	100	88	76	93	107	89	95	86
Stråstyrka, 100= helt upprättstående gröda, 0= fullständig liggsäd.											
1989	Havre	95	95	90	95	95	95	85	95	80	90
1990	Vårvete	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1991	Korn	95	95	60	60	50	50	30	50	10	5
Medeltal, 89-91		97	97	83	85	82	82	72	82	63	65

Tabell 6. Halter i och bortförel med kärnskördarna av total-N och total-P.

Led	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Flytgödsel										
Spridningstid										
Mängd	0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	Tidig höst		Vår			
Handels gödsel	0 N	0 N	1 N	1 N	1/2 N	2 STG	1 STG	1 STG	2 STG	2 STG
Fånggröda	-	Rajgräs	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Plöjningstid	Höst	Vår	Höst	Vår	Vår	Vår	Höst	Vår	Höst	Vår
Halter av total-N i kärnskördarna (% av ts)										
1989 Havre	1,55	1,59	1,95	1,95	1,91	2,03	2,26	1,98	2,03	2,35
1990 Vårvete	1,70	1,86	2,03	1,69	1,76	1,86	2,02	1,97	2,13	2,39
1991 Korn	1,14	1,23	1,32	1,28	1,43	1,82	1,66	1,58	2,29	2,32
Medeltal 89-91	1,46	1,56	1,77	1,77	1,70	1,90	1,98	1,84	2,15	2,35
Kväve bortfört med kärnskördarna (N kg/ha)										
1989 Havre	29	39	73	68	55	73	96	54	74	76
1990 Vårvete	30	21	102	65	50	74	113	86	108	101
1991 Korn	12	28	66	62	68	96	83	83	100	102
Medeltal 89-91	24	30	81	65	58	81	97	74	94	93
Halter av total-P i kärnskördarna (% av ts)										
1989 Havre	0,39	0,38	0,39	0,41	0,40	0,43	0,46	0,43	0,41	0,42
1990 Vårvete	0,41	0,41	0,33	0,33	0,33	0,35	0,33	0,35	0,35	0,37
1991 Korn	0,41	0,43	0,41	0,39	0,46	0,46	0,44	0,44	0,52	0,55
Medeltal 89-90	0,40	0,41	0,38	0,38	0,40	0,41	0,41	0,41	0,43	0,45
Fosfor bortfört med kärnskördarna (P kg/ha)										
1989 Havre	7	9	15	14	11	15	20	12	15	13
1990 Vårvete	7	5	17	13	9	14	18	15	18	16
1991 Korn	4	10	21	19	22	24	22	23	23	24
Medeltal 89-91	6	8	17	15	14	18	20	17	18	18

I led I och J uppskattades liggsäden till i medeltal ca 35 % (tabell 5). I led C och D med enbart handelsgödselkväve erhöles ca 15 % liggsäd. I led G, med enkel flytgödselgiva på våren, fastställdes närmare 30 % liggsäd. Trots att detta led hade högst skördenivå, tyder liggsädesförekomsten på något överoptimal N-tillgång. Detta kan delvis bero på att flytgödseln med åren medfört ökad leverans av jordkväve (tabell 10). Höstspidningen av flytgödsel gav relativ lite liggsäd, även med dubbel giva, uppenbarligen beroende på stora N-förluster.

Det fanns en svag tendens till högre vattenhalt i kärnskörderna i flytgödselleden H och J med fånggröda jämfört med motsvarande led (G och I) utan fånggröda. I övrigt hade fånggrödorna ingen sådan inverkan.

Kväve i kärnskördarna

I led C, med enbart handelsgödselkväve och utan fånggröda, blev totalkvävehalten i kärnskörderna i medeltal 1,77 % av torrsubstansen. Med kärnskörderna bortfördes 81 N kg/ha (tabell 6).

Med samma gödsling men med fånggröda (led D) erhöles samma totalkvävehalt, men genom mindre avkastning blev kväveskörderna lägre. I led G, med enkel flytgödselgiva på våren och utan fånggröda, blev både totalkvävehalt och -skörd högre än i led C, uppenbarligen beroende på den större kvävetillgången (jmf. tabell 7b). I led H, med samma gödsling men med fånggröda, blev kväveskörderna drygt 20 kg/ha lägre än i led G. Fördubblad flytgödselgiva på våren (led I och J) gav betydligt högre totalkvävehalt än enkel giva, men till följd av liggsäd och nedsatt kärnavkastning nådde kväveskörderna i medeltal ej upp till nivån i led G. Flytgödselspidning på hösten medförde lägre totalkvävehalter och kväveskördar än motsvarande givor på våren.

Fosfor i kärnskördarna

Av tabell 6 framgår, att 14-20 P kg/ha bortfördes med kärnskördarna i de led som tillfördes gödselkväve jämfört med genomsnittligt 6 och 8 kg i led A och B, som ej gödslats med kväve. I led A och B spreds dock samma mängder fosfor i form av handelsgödsel som i led C och D.

Tabell 7a. Kväve- och fosforutbyte beräknat som det procentuella förhållandet mellan kväve resp. fosfor bortfört med skördeprodukter (kärna av stråsäd, tabell 6) och kväve resp. fosfor tillfört med flytgödsel och handelsgödsel (tabell 4). Kvävet i flytgödseln avser endast $\text{NH}_4\text{-N}$.

Led		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Flytgödsel											
Spridningstid											
Mängd		0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	Tidig höst		Vår			
Handelsgödsel		0 N	0 N	1 N	1 N	1 STG	2 STG	1 STG	1 STG	2 STG	2 STG
Fånggröda		-	Rajgräs	-	Rajgräs	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Plöjningstid		Höst	Vår	Höst	Vår	Rajgräs	Rajgräs	Höst	Rajgräs	Höst	Rajgräs
						Vår	Vår		Vår		Vår
Kväveutbyte (%)											
1989	Havre	-	-	81	76	59	51	96	54	48	49
1990	Vårvete	-	-	93	59	41	40	82	62	57	53
1991	Korn	-	-	73	69	57	50	69	69	51	52
Medeltal 89-91		-	-	82	68	52	47	82	62	52	51
Fosforutbyte (%)											
1989	Havre	36	47	73	71	54	73	61	36	34	31
1990	Vårvete	35	24	83	63	43	58	49	40	40	35
1991	Korn	22	50	103	95	100	105	99	105	99	105
Medeltal 89-91		31	40	86	76	66	79	70	60	58	57

Då fosforhalterna i kärnan var relativt lika leden emellan, beror variationerna i P-skördarna på att fosforupptaget i hög grad var korrelerat med tillväxten och kärnskörd. I led G, som gav högst kärnskörd, bortfördes med denna den största fosformängden, 20 P kg/ha. Fosforutnyttjandet styrdes således av de odlingsåtgärder som påverkade avkastningsnivån, främst mängd gödselkväve och tidpunkt för tillförseln därav.

Kväveutbyte genom gödslingsåtgärder

Kväveutbytet, beräknat som förhållandet mellan kväve bortfört med kärnskördarna (tabell 6) och kväve tillfört med handelsgödsel och som ammoniumkväve i flytgödseln (tabell 4), blev störst i de båda normalgödslade leden utan fånggröda, C och G, det första med enbart handelsgödselkväve och det andra med halv handelsgödselkvävegiva och enkel flytgödselgiva på våren (tabell 7a). Utbytet motsvarade här 82 % av tillförd N-mängd. I motsvarande led med fånggröda (D och H) blev utbytet i storleksordningen 10-20 procentenheter lägre. Såväl höstspredning som dubbel flytgödselgiva på våren gav endast ca 50 % utbyte.

Fosforutbyte genom gödslingsåtgärder

Liksom för kväve blev fosforutbytet i kärnskördarna bättre i leden utan fånggröda (tabell 7a), uppenbarligen beroende på större avkastning i dessa led. Detta förhållande gäller dock ej de båda icke kvävegödslade leden A och B. Det bästa P-utbytet, 86 %, erhöles i led C, utan fånggröda och med enbart handelsgödselkväve. I motsvarande led med fånggröda (D) blev utbytet 10 %-enheter lägre. I leden med enkel flytgödselgödselgiva på våren, där även en mindre mängd fosfor tillfördes i form av handelsgödsel, blev fosforutbytet i kärnskörderna sämre än i de rena handelsgödselkväveleden. P-tillgången synes ha varit alltför god. Fördubblad flytgödselgiva på våren ledde till ytterligare försämrat utbyte p.g.a. för stor P-tillförsel i förhållande till skördenivån. Ingen fosfor i form av handelsgödsel tillfördes dock här. I led A och B, som erhöles samma P-gödsling som led C och D, blev utbytet så lågt som 31 resp. 40 %, uppenbarligen till följd av den låga avkastningsnivån.

Resultaten tyder således på att goda skördar medför bättre gödsel-fosforutbyte och vice versa. P-gödslingen bör därför anpassas till förväntad skörd. Vidare framgår det, att stora flytgödselgivor kan leda till försämrat fosforutbyte, även om ingen fosfor sprids i form av handelsgödsel.

Tabell 7b. Grödornas totala kväveinnehåll (N kg/ha) vid gultmognad i de "ordinarie" rutorna (med flytgödsel och/eller handelsgödselkväve) och gödselkvävet utnyttjandegrad (% av tillförd N-mängd). I leden med fånggröda avser grödornas N-innehåll det samlade totalkväveinnehållet i både huvud- och fånggröda.

Led	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Flytgödsel										
Spridningstid					Tidig höst		Vår			
Mängd	0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	1 STG	2 STG	1 STG	1 STG	2 STG	2 STG
Handelsgödsel	0 N	0 N	1 N	1 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Fånggröda	-	Rajgräs	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Rajgräs	-	Rajgräs
Plöjningstid	Höst	Vår	Höst	Vår	Vår	Vår	Höst	Vår	Höst	Vår
Grödornas N-innehåll (N kg/ha)										
1989 Havre	47	60	127	137	108	142	145	113	176	176
1990 Vårve	52	40	158	119	97	111	191	175	207	197
1991 Korn	27	54	96	125	116	154	153	153	208	207
Medeltal, 89-91	42	51	127	127	107	135	163	147	197	193
Gödselkvävet utnyttjandegrad (%) med avseende på summan av flytgödselns ammoniumkväve och handelsgödselkväve										
Medeltal, 89-91	-	-	64	74	50	40	68	54	77	66
Gödselkvävet utnyttjande grad (%) med avseende på enbart flytgödselns ammoniumkväve										
Medeltal, 89-91	-	-	-	-	38	18	48	52	54	56

Grödornas samlade N-upptag

Gödslingens och fånggrödornas inverkan på grödornas samlade N-upptag bestämdes genom grödprovtagning i de "ordinarie" rutorna vid gultmognad (tabell 7b). Vid beräkningarna lades fånggrödornas N-innehåll (i led B, D, E, F, H och J) till huvudgrödornas kväveupptag. Fånggrödornas del i det totala kväveupptaget vid gultmognaden utgjorde i storleksordningen 10-20 N kg/ha (jmf. tabell 8b).

Det som tidigare framförts angående skördeskillnaderna mellan olika led de enskilda åren, tänkbara orsaker, liksom reservationen angående flerårsmedelvärdenas jämförbarhet gäller i stort sett även för grödornas kväveupptag liksom efterföljande redovisning av gödselkvävet utnyttjandegrad.

Av leden utan fånggröda tog grödorna i led C, med enbart handelsgödselkväve, upp 127 N kg/ha som medeltal för åren 1989-91 medan kväveupptaget i led G och I, med enkel resp. dubbel flytgödselgiva på våren, blev ca 35 resp. 70 N kg/ha större. Såsom tidigare diskuterats kan förklaringen, förutom skillnaden i total kvävetillförsel (tabell 4), vara att flytgödseltillförseln med åren (sedan 1984) lett till större leverans av jordkväve (jmf. tabell 10).

Flytgödselspridning på hösten (led E och F), gav klart mindre kväveupptag än spridning av motsvarande mängder på våren (led G - J). De ökade förlusterna vid höstspridning tycks här ha haft större utslag än ovannämnda uppbyggnad av jordkväveleveransen.

Det i allmänhet ökade kväveupptaget 1991 i leden med fånggröda kan, som tidigare framförts, bl.a. bero på bättre kvävetillgång på våren än året innan (tabell 9) och större kväve mineralisering till följd av upprepad nedbrukning av fånggröda (tabell 10).

Gödselkvävet utnyttjandegrad

Det kväveutbyte som redovisats i tabell 7a avser den mängd kväve som bortfördes med kärnsörden i relation till gödselgivornas storlek. Frågan är emellertid även, i hur hög grad gödselkvävet bidragit till grödornas N-försörjning. Detta kan uttryckas med hjälp av gödselkvävet del av grödornas samlade N-upptag, som bestämdes genom provtagning i de "ordinarie" rutorna vid gultmognad (tabell 7b). Samtidigt härmed fastställdes tillgången på utnyttjbart jordkväve genom grödprovtagning i enkel- och dubbel-ON-parcellerna. Med hjälp härav beräknades på följande sätt gödselkvävet

utnyttjandegrad som gödselkvävet del av grödans totala N-upptag i relation till gödselgivans storlek:

$$U = \frac{100(N_{cg} - N_{co})}{N_g}$$

där U = gödselkvävet utnyttjandegrad (%),

N_{cg} = totalkväve i grödan i ordinarie ruta (med gödselkväve), inkl. förekommande fånggrödans N-upptag,

N_{co} = totalkväve i grödan i enkel- eller dubbel-ON-parceller (utan gödselkväve under året i fråga),

N_g = tillfört gödselkväve i handelsgödsel och som ammonium-N i flytgödsel.

Utnyttjandegraden för enbart flytgödselammoniumkvävet beräknades på liknande sätt med hjälp av differensen mellan kväveupptaget i enkel-ON-parcellerna (utan handelsgödsel-N men i dessa fall med flytgödsel) och dubbel-ON-parcellerna (utan handelsgödsel-N och utan flytgödsel). I de led som tillförts flytgödsel kunde beräkningar ej göras för år 1990, då dubbel-ON-parcellerna av misstag ej provtogs vid gultmognad.

Som framgår av tabell 7b uppgick gödselkväveutnyttjandegraden i led C, med enbart handelsgödselkväve, till 64 % som medeltal för åren 1989-91. I led G och I, utan fånggröda och med enkel resp. dubbel flytgödselgiva på våren, blev utnyttjandegraden ungefär lika stor som i det rena handelsgödselkväveledet. Vid flytgödselspridning på hösten (led E och F) blev utnyttjandegraden lägre än i alla andra gödslade led.

Utnyttjandet av enbart flytgödselammoniumkvävet blev sämre än för summan av detta och handelsgödselkvävet. Sämst blev det i de höstgödslade leden E och F (38 resp. 18 %). I leden med vårspridning uppgick gödselammoniumkvävet utnyttjandegrad till ca 50 %.

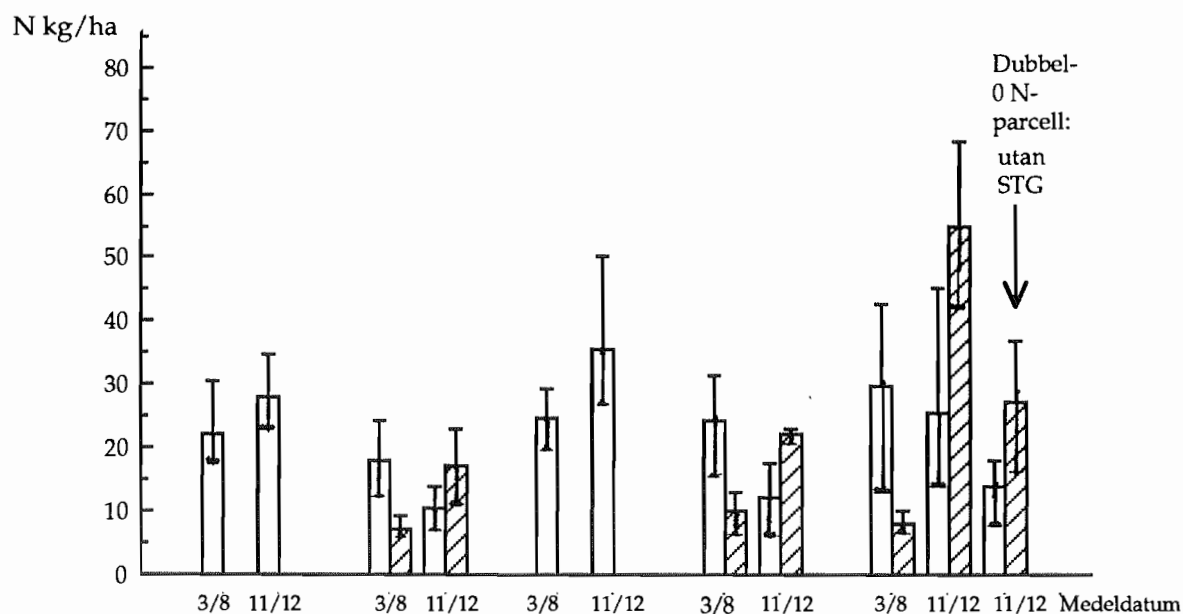
Resultaten tyder på att flytgödsel på våren i kombination med reducerad handelsgödselkvävegiva kan ge ungefär samma gödselkväveutnyttjande som en normalstor giva handelsgödselkväve. Man måste dock räkna med att något av flytgödselns ammoniumkväve gått förlorat för växterna i samband med och efter spridningen. Utöver ammoniakavdunstning är ökad kväveimmobilisering vid flytgödselns nedbrytning (Olsson, 1985; Olsson, 1986; Lindén, 1987; Jakobsson & Lindén, 1993) och denitrifikation (Maag, 1989) möjlig. Den på dessa sätt minskade N-tillgången kan i försöket dock delvis ha kompensats av att en del av flytgödselns organiska kväveinnehåll mineraliserats under växtsäsongens senare del och av att flytgödselspridningarna med åren ökat N-mineraliseringen i marken (jmf. tabell 10).

Fånggrödornas tillväxt och kväveupptag

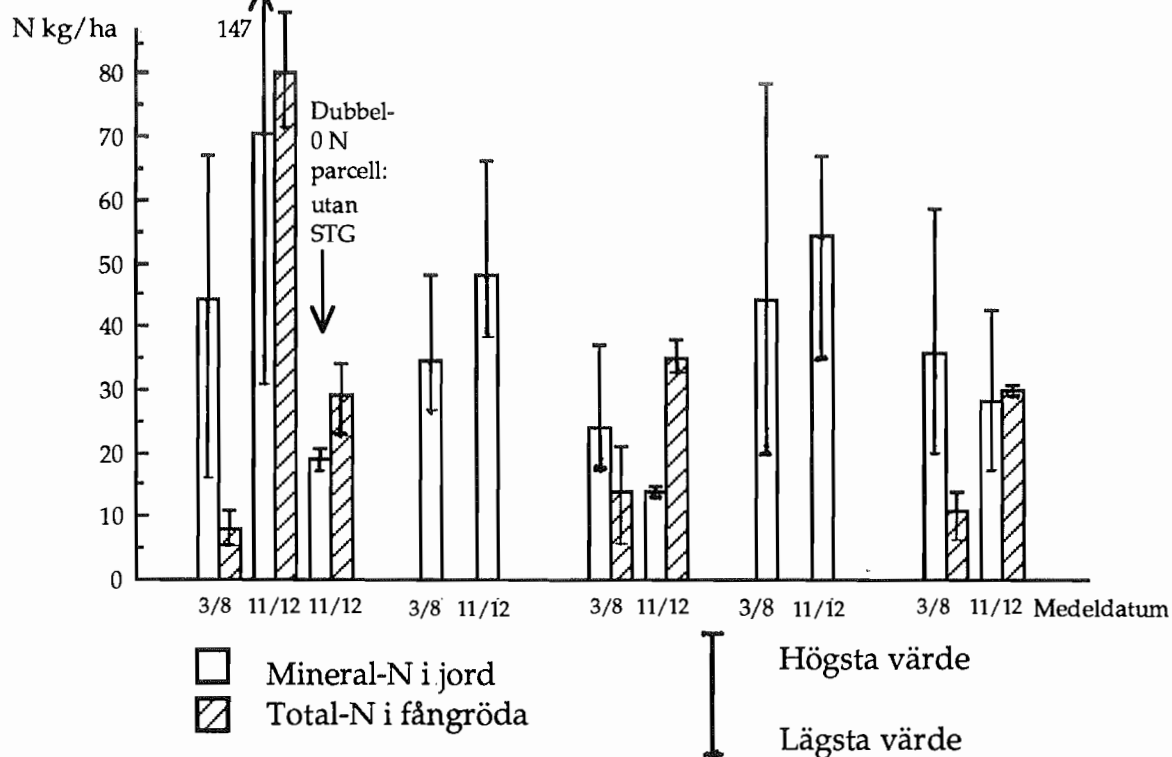
Fånggrödornas ovanjordiska växtmassa (ts, kg/ha) och ovanjordiska totalkväveinnehåll vid stråsädens gultmognadsstadium, under senhösten och efterföljande vår redovisas i tabellerna 8a och 8b. Av misstag provtogs inte fånggrödan på senhösten 1990. För att ändå erhålla någorlunda rimliga medelvärden för treårsperioden har skattade värden för denna höst insatts vid beräkningen. Därvid har antagits att ovanjordisk växtmassa, liksom kväveinnehållet, var desamma som vid den efterföljande provtagningen på våren 1991.

Fram till stråsädesgrödornas gultmognadsstadium (medeldatum för provtagning: 3/8) hade rajgräset nått en tillväxt som varierade mellan 190 och 1270 ts kg/ha (tabell 8a). Som medeltal för de tre åren var tillväxten minst (530 kg) i led B, utan gödselkväve, och störst (840 kg) i led H, med enkel flytgödselgiva på våren. I led F och J (dubbel flytgödselgiva på hösten resp. våren) blev tillväxten nästan lika svag som i led B. Vad gäller led J var orsaken troligen större konkurrens från huvudgrödan genom kraftigare vegetativ tillväxt.

Led:	A	B	C	D	E
Gödsling:	0 STG 0 N	0 STG 0 N	0 STG 1 N	0 STG 1 N	1 STG (höst) 1/2 N
Fånggröda:	utan	med	utan	med	med



Led:	F	G	H	I	J
Gödsling:	2 STG (höst) 1/2 N	1 STG 1/2 N	1 STG 1/2 N	2 STG 1/2 N	2 STG 1/2 N
Fånggröda:	med	utan	med	utan	med



Figur 3. Mineralkväve (kg/ha) inom 0-90 cm djup i marken och totalkväve (kg/ha) i fånggrödans ovanjordiska delar vid provtagning dels vid huvudgrödans gulmognadsstadium (medeldatum: 3/8) och dels under senhösten (medeldatum: 12/11). För led E och F, med tillförsel av flytgödsel under tidig höst, anges även värden för dubbel-0N-parceller, som ej tillfördes flytgödsel under hösten i fråga. Kväveinnehållet i fånggrödorna under senhösten avser endbart 1990 och 1991.

Tabell 8a. Fånggrödornas tillväxt mätt som torrsubstans i ovanjordiskt växtmaterial (kg/ha) vid tre tidpunkter: vid huvudgrödans gulmognadsstadium (I), under senhösten därefter (II) och före vårplöjningen nästa år (III). För led E och F anges torrsubstansmängden under höst och vår dels för ordinarie rutor, som gödslats med flytgödsel tidigare under hösten i fråga, och dels i dubbel-0N-parceller (inom parentes), som då ej tillfördes flytgödsel.

Led	B	D	E	F	H	J	
Flytgödsel							
Spridningstid			Tidig höst		Vår		
Mängd	0 STG	0 STG	1 STG	2 STG	1 STG	2 STG	
Handelsgödselkväve	0 N	1 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	
Fånggröda	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	
Plöjningstid	Vår	Vår	Vår	Vår	Vår	Vår	
<u>Provtagning:</u>							
Tidpunkt	Datum						
1989/90 (huvudgröda: havre, fånggröda: italienskt rajgräs)							
I	31.7.89	770	710	560	620	930	540
II	15.11.89	780	1260	1800 (920)	2400 (1260)	2160	1560
III	2.4.90	1320	1660	3060 (2120)	3140 (2650)	3490	3130
1990/91 (huvudgröda: vårvete, fånggröda: italienskt rajgräs)							
I	7.8.90	450	1230	840	850	1270	840
II							
III	25.3.91	930	1260	1310 (1350)	990 (940)	1160	1270
1991/92 (huvudgröda: havre, fånggröda: engelskt rajgräs)							
I	31.7.91	350	330	360	190	310	280
II	13.11.91	1570	1560	2640 (2160)	2700 (1760)	1780	920
III	26.3.92	870	770	2020 (930)	1800 (830)	1010	560
Medeltal 1989/90 - 1991/92							
I	3.8	530	760	590	550	840	550
II*	14.11	1090	1360	1920 (1270)	2030 (1320)	1700	1250
III	28.3	1040	1230	2130 (1470)	1980 (1470)	1890	1650

* Skattade värden för 1990 ingår, se texten.

Vid denna tidpunkt varierade totalkväveinnehållet i rajgräsens ovanjordiska delar från i medeltal 7 N kg/ha i led B till 14 kg i led H (tabell 8b och figur 3).

Från gulmognad till mitten av november (medeldatum för provtagning: 14/11) växte rajgräset avsevärt i vissa led (tabell 8a). I led F, där dubbel flytgödselgiva tillfördes tidigt under hösten (medeldatum: 26/9), uppgick medeltillväxten till ca 1500 kg ts/ha. I de under hösten i fråga icke gödslade dubbel-0N-parcellerna i detta led blev produktionen bara hälften så stor. Även i led E, med enkel flytgödselgiva under hösten, erhöles mindre tillväxt i dubbel-0N-parcellerna. Detta tyder på att flytgödseln befrämjat rajgräsens tillväxt under hösten. Grönmasstillväxten i led J, med dubbel flytgödselgiva på våren blev lägre än i led H (med enkel flytgödselgiva), troligen beroende på sämre förutsättningar genom huvudgrödans konkurrens under sommaren.

I de vårgödslade leden ökade kväveinnehållet i rajgräsens ovanjordiska delar i storleksordningen 10-20 N kg/ha, mest i de flytgödslade leden (tabell 8b). I de höstgödslade leden var ökningen betydligt större.

Som jämförelse kan nämnas att höstrågen, som odlades som fånggröda i det tidigare försöket (led H), tog upp 11-16 N kg/ha i ovanjordiska delar fram till samma tidpunkt de år den såddes i normal tid för höstsäd. Detta medförde en utlakningsreduktion på 42 % (Torstensson *et al.*, 1992), vilket ska jämföras med de 78 % som erhöles med insått rajgräs (se tabell 5).

Det betydligt kraftigare reduktionen av utlakningen liksom mineralkväveförråden under hösten med rajgräs kan alltså knappast förklaras med enbart större kväveupptag under denna tid. Att den uteblivna jordbearbetningen på hösten lett till minskad kväve mineralisering torde vara en tänkbar förklaringen. Rajgräsens samlade kväveupptag fram till senhösten blev dock större än höstrågens, då det förra tagit upp en del kväve redan fram till gulmognad, så att marken då innehåll mindre mineralkväve än i leden utan fånggröda (tabell 9). Vidare kunde rajgräset redan tidigt på hösten motverka kväveutlakningen, medan det vid sådd av höstråg kan ha transporterats kväve ned under rotzonen, innan rågen börjat växa till.

Tabell 8b. Fånggrödornas kväveupptag mätt som totalkväve i ovanjordiskt växtmaterial (N kg/ha) vid tre tidpunkter: vid huvudgrödans gulmognadsstadium (I), under senhösten därefter (II) och före vårplöjningen nästa år (III). För led E och F anges kväveupptag under höst och vår dels för ordinarie rutor, som gödslats med flytgödsel tidigare under hösten i fråga, och dels i dubbel-ON-parceller (inom parentes), som då ej tillfördes flytgödsel.

Led		B	D	E	F	H	J
Flytgödsel							
Spridningstid				Tidig höst		Vår	
Mängd		0 STG	0 STG	1 STG	2 STG	1 STG	2 STG
Handelsgödselkväve		0 N	1 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Fånggröda		Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs
Plöjningstid		Vår	Vår	Vår	Vår	Vår	Vår
Provtagning:							
Tidpunkt	Datum						
1989/90 (huvudgröda: havre, fånggröda: italienskt rajgräs)							
I	31.7.89	9	11	7	10	16	14
II	15.11.89	11	21	41 (17)	71 (23)	38	31
III	2.4.90	21	25	60 (34)	67 (46)	58	56
1990/91 (huvudgröda: vårvete, fånggröda: italienskt rajgräs)							
I	7.8.90	7	13	10	11	21	14
II							
III	25.3.91	20	28	38 (32)	33 (24)	32	37
1991/92 (huvudgröda: havre, fånggröda: engelskt rajgräs)							
I	31.7.91	6	6	7	5	6	6
II	13.11.91	23	23	68 (37)	90 (34)	33	29
III	26.3.92	21	20	62 (26)	66 (27)	29	19
Medeltal 1989/90 - 1991/92							
I	3.8	7	10	8	8	14	11
II*	14.11	18	24	49 (29)	65 (27)	34	32
III	28.3	21	24	53 (31)	55 (32)	40	38

* Skattade värden för 1990 ingår, se texten.

Tillförseln av flytgödselkväve på hösten i led E och F (härav i medeltal 71 resp. 141 kg ammoniumkväve per hektar) ökade kväveinnehållet i rajgräsens ovanjordiska delar med omkring 20 resp. 40 N kg/ha jämfört med dubbel-ON-parcellerna (utan flytgödsel) i fråga (tabell 8b och figur 3). Även om rötternas kväveinnehåll skulle beaktas (jmf. Jensen, 1991a), synes rajgräset dock ej ha haft kapacitet att tillvarata allt tillfört flytgödselammoniumkväve med ökade utlakningsförluster som följd (tabell 15).

Fram till provtagningarna tidigt på våren (medeldatum: 28/3) ökade totalkvävemängden i det ovanjordiska växtmaterialet något (tabell 8b), vilket delvis torde bero på begynnande vårtillväxt. Viss tillväxt kan dock även ha varit möjlig under milda senhöst- och vinterperioder. I led H och J, med enkel resp. dubbel flytgödselgiva på våren, uppgick totalkväveinnehållet till ca 40 kg/ha, vilket var nästan dubbelt så mycket som i led B och D (utan gödselkväve resp. med enbart handelsgödselkväve). Merinnehållet tyder på att rajgräset tillvaratagit kväve, som frigjorts genom den ökade N-mineralisering under de kalla årstiderna som de årliga flytgödelsespridningarna medfört (figur 4).

Efter provtagning den 25 mars 1991, ca 2 veckor före nedbrukningen av fånggrödorna, bestämdes C/N-kvoten i rajgräsens ovanjordiska växtdelar. Denna varierade från 13 till 20 med ett medeltal lika med 16. Liknande värden erhöles våren 1992. Totalkvävehalterna översteg vid dessa tillfällen 2 % av torrsubstansen, men vid motsvarande tidpunkt 1990 var de något lägre. Vid så pass låga C/N-kvoter resp. så höga kvävehalter räknar man i allmänhet med nettomineralisering (Jenkinson, 1981).

En del av det ovanjordiska materialet som nedbrukades bestod dock av stubb- och halmrester från föregående års gröda som ej provtogs. Härtill kommer att rajgräsens rotnassa torde ha haft lägre kvävehalt än de ovanjordiska växtdelarna (Jensen, 1991a). En viss, inledande kväveimmobilisering efter nedbrukningen har därför förmodligen skett men torde, som framgår av tabell 9, inte påtagligt ha hämmat kvävefrigörelsen under den efterföljande växtsäsongen jämfört med motsvarande led utan fånggröda.

Tabell 9. Mineralkväve (N kg/ha) inom 0-90 cm markdjup vid huvudgrödans gulmognadsstadium, under senhösten och tidigt på våren under åren 1989/90 - 1991/92.

Led	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Flytgödsel										
Spridningstid					Tidig höst		Vår			
Mängd	0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	1 STG	2 STG	1 STG	1 STG	2 STG	2 STG
Handels gödsel	0 N	0 N	1 N	1 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Fånggröda	-	Rajgräs	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Rajgräs	-	Rajgräs
Plöjningstid	Höst	Vår	Höst	Vår	Vår	Vår	Höst	Vår	Höst	Vår
Tidpunkt										
Gulmognad, medeldatum 3.8										
1989	30	24	29	26	34	51	28	18	34	29
1990	18	13	19	15	13	15	27	17	19	20
1991	19	17	25	31	43	67	48	37	79	59
Medeltal 89-91	22	18	25	24	30	44	35	24	44	36
Sen höst, medeldatum 12.11										
1989	35	14	50	18	18	31	66	14	62	17
1990	23	10	26	13	45	147	40	15	35	25
1991	26	7	30	6	13	34	38	13	67	43
Medeltal 89-91	28	10	35	12	25	71	48	14	55	28
Tidig vår, medeldatum 28.3										
1989	50	52	55	50	55	85	61	21	46	59
1990	34	9	40	9	9	13	55	10	50	12
1991	39	17	31	16	42	86	37	30	37	40
1992	43	22	39	26	32	40	45	30	49	38
Medeltal 90-92	39	16	37	17	28	46	46	23	45	30
Uppkomst, medeldatum 3.5										
1990	51	28	63	42	38	49	90	44	93	77
1991	53	35	54	34	65	120	46	54	64	62
Medeltal 90-91	52	32	59	38	52	85	68	49	79	70

Kvävedynamiken i marken

Mineralkväverester i marken då huvudgrödans N-upptagning avslutats under sensommaren (gulmognad)

De mängder mineralkväve som fanns i markprofilen (0-90 cm djup) vid stråsädesgrödornas gulmognadsstadium kan betraktas som outnyttjbara rester, vilka blivit kvar då huvudgrödans N-upptagningen avslutats. Fånggrödornas N-upptag fram till denna tidpunkt bidrog dock i viss mån till att minska de kvarblivna mineralkvävemängderna, då markprofilen i leden med rajgräs i medeltal innehöll mindre mineral-N än i leden utan fånggröda (tabell 9 samt figur 3 och 5 - 7).

I det rena handelsgödselledet utan fånggröda (led C) innehöll marken i genomsnitt 25 N kg/ha. I motsvarande led med flytgödseltillförsel var mineralkvävemängderna i medeltal något större. Orsaken kan bl.a. vara mineralisering av organiskt flytgödselkväve under senare delen av huvudgrödans växtsäsong. Dubbel giva flytgödsel på hösten eller våren gav större restkvävemängder än enkel giva.

De större mineralkväveresterna i led I och J, med dubbel flytgödselgiva på våren, tyder tillsammans med den ökade liggsädesfrekvensen på alltför stor gödsling. Samma synes gälla för led G, med enkel flytgödselgiva på våren. I led E och F, med flytgödselspridning på hösten, tycks de större mineralkväveresterna i allmänhet bero på att nitrat, som under vintern dessförinnan transporterats ned till mer än ca 60 cm djup, ej kunde utnyttjas av grödan (figur 5 - 7). Detta outnyttjade kväve försvann senare under höstarna och torde då, ett år efter gödslingarna, ha bidragit till ökad N-utlakning.

Mineralkväve i marken under senhösten

I leden utan fånggröda ökade i genomsnitt mineralkväveförråden i marken från gulmognad (medeldatum: 3/8) till provtagningen under senhösten (medeldatum: 12/11) jmf. tabell 9 samt figur 3, 5, 6 och 7. Som medeltal återfanns på senhösten mellan 28 och 55 N kg/ha, mest i de flytgödslade leden. I led C med enbart handelsgödsel fastställdes i medeltal 35 N kg/ha.

I led B, D och H, alla med rajgräs, minskade mineralkvävemängderna kraftigt från gulmognad till senhöst till följd av fånggrödans kväveupptag (tabell 9 och figur 3). De små mängderna under senhösten sammanfaller med reducerade utlakningsförluster i jämförelse med motsvarande led utan fånggröda (figur 9 och tabell 15). Stora minskningar ägde också rum i de för året icke höstgödslade dubbel-0N-parcellerna i led E och F (tabell 8b och figur 3). I alla dessa led reducerades nitratkvävemängderna till i storleksordningen 5 kg/ha inom 90 cm djup jämfört med ett par eller flera tiotals kg i leden utan fånggröda. I led J med dubbel flytgödselgiva på våren blev dock minskningen liten, vilket sammanfaller med begränsad tillväxt hos fånggrödan och därmed otillräckligt N-upptag under hösten (tabell 8a och 8b). Förklaringen synes vara svagare rajgräsbestånd genom att gödslingen orsakade frodig huvudgröda med ökad liggsädesbildning.

Mest mineralkväve, 71 kg/ha som medeltal, men med mycket stora variationer mellan åren, fastställdes i led F med dubbel flytgödselspridning på hösten, varvid genomsnittligt 141 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ per ha tillfördes. Trots den stora tillförseln av $\text{NH}_4\text{-N}$ i de höstgödslade leden (E och F) var det endast vid ett tillfälle, efter den ovanligt sena spridningen hösten 1990 (tabell 3), som påtagligt större mängder av $\text{NH}_4\text{-N}$ återfanns på senhösten än i de led som inte höstgödslades. Förutom fånggrödans kväveupptag, ammoniakavdunstning vid spridningen och nitratutlakning efter nitrifikation av ammoniumkvävet kan denitrifikation (jmf. Maag, 1989) och N-immobilisering vara orsak till gödselkvävet försvinnande.

Mineralkväve i marken tidigt på våren

Även vid vårprovtagningen åren 1990-92 (medeldatum: 28/3) var mineralkväveförråden i rajgräsleden små jämfört med motsvarande led utan fånggröda och jämfört med våren 1989, då rajgräs ännu inte införts som fånggröda (tabell 9). De största skillnaderna noterades år 1990 då som mest 45 N kg/ha mindre återfanns i led H jämfört med led G. Denna skillnad innebar att det redan vid vegetationsperiodens början kunde föreligga ett betydande "mineralkväveunderskott" i fånggrödeleden jämfört med motsvarande led utan fånggröda. Mineralkväveunderskotten under tidig vår sammanfaller med nedsatta kärnskördar i jämförelse med motsvarande led utan fånggröda (jmf. tabell 5 och 9). Det tillgängliga materialet är för litet för en riktig analys men ett visst samband ($r^2=0,86$, $n=6$) tycks föreligga för leden med kvävegödsling.

I led B, D och H fanns som medeltal för åren 1990-92 i storleksordningen 20 N kg/ha men med en ökande trend med åren (tabell 9). Mer mineralkväve fastställdes dock i led J, med dubbel flytgödselgiva på våren, och i de höstgödslade fånggrödeleden E och F. I det senare, där dubbel flytgödselgiva tillförts, minskade genomsnittsförrådet från 71 N kg/ha under senhösten till 46 kg/ha på våren. I led I, med dubbel flytgödselgiva på våren och utan fånggröda, uppkom i medeltal en minskning fram till vårprovtagningen. Minskningarna sammanföll med betydande utlakningsförluster (tabell 15). Utlakningen i övriga led ägde i allmänhet rum utan påtaglig minskning av mineralkväveförråden i marken, vilka alltså kompensterats genom N-mineraliseringsstillskott.

Rajgräset tog bara upp smärre N-mängder under tiden från sen höst till vårprovtagningen (tabell 8b). Detta tyder på att dess huvudsakliga utlakningsreducerande effekt åstadkoms under hösten. Det mineralkväve som i större mängder återfanns på senhösten i led F, med dubbel flytgödselgiva på hösten, måste därför, trots fånggrödan, ha medfört starkt ökad utlakningsrisk.

Den höstråg som såddes som fånggröda hösten 1988 tog dock upp en hel del kväve under vintern, med små mineralkvävemängder i marken som följd (jmf. figur 6). Från slutet av november 1988 till i mitten av februari 1989 ökade rågens N-innehåll från 25 till 33 N kg/ha. I slutet av mars uppgick N-upptaget till närmare 50 N kg/ha.

Kvävemineralisering under olika årstider

Figur 4 åskådliggör nettomineraliseringen av kväve dels årligen och dels under följande perioder:

- Under "växstsäsongen", räknat från jord- och fånggrödeprovtagningen tidigt på våren (medeldatum: 30/3) till huvudgrödans gulmognadsstadium (medeldatum: 3/8), då dess N-upptagning kan anses ha varit avslutad. Perioden avser den säsong, under vilken övervintrande mineralkväve och kväve som då mineraliseras normalt kan tas tillvara av huvudgrödan.
- Utanför "växstsäsongen": från gulmognad till jord- och fånggrödeprovtagningen tidigt på våren (medeldatum: 4/8 - 29/3). Perioden avser de årstider då det efter odling av vårsäd och andra grödor med liknande växstsäsong icke finns någon levande vegetation, fränsett ogräs och grodd spillsäd, som kan ta tillvara kväve i marken, såvida ingen fånggröda odlas. Det mineralkväve som under denna tid finns i marken eller tillkommer bl.a. genom mineralisering riskerar då att i större eller mindre utsträckning gå förlorat.

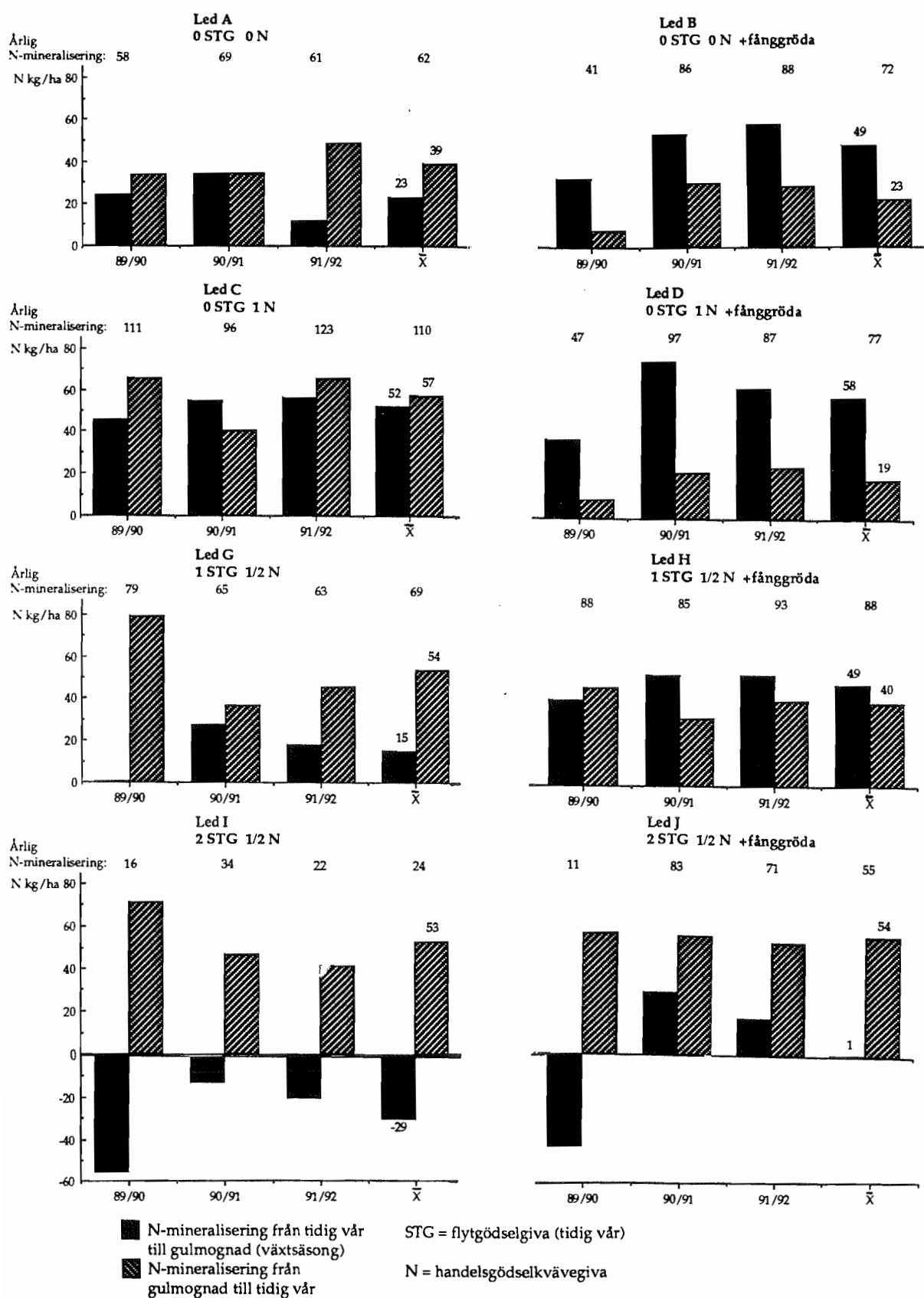
Resultaten har erhållits med hjälp av den i avsnittet "Material och metoder" redovisade beräkningsmetoden. I N-mineraliseringen under växstsäsongen ingår grödornas N-upptag och mineral-N i marken i enkel-ON-parcellerna, i vilka handelsgödselkväve ej tillfördes under året i fråga. Detta innebär att flytgödsels inverkan på kvävefrigörelsen är beaktad, medan handelsgödselkvävet omsättningar icke påverkar resultaten.

N-mineraliseringen under de båda perioderna påverkades starkt av jordbearbetningen och förekomsten av fånggröda (figur 4). I leden utan fånggröda stubbearbetades marken vid minst ett tillfälle efter skörden följt av plöjning i slutet av november (tabell 3). Leden med fånggröda bearbetades på samma sätt i direkt anslutning till vårsådden. I det icke kvävegödslade A-ledet liksom i led C med enbart handelsgödselkväve, båda utan fånggröda, var N-mineraliseringen från gulmognad till tidig vår större än under växstsäsongen. Mer än hälften av årsmineraliseringen ägde alltså rum under årstider då ingen gröda tillvaratog kväve. I motsvarande led med fånggröda och vårbearbetning (B och D) var N-frigörelsen under perioden från gulmognad till tidig vår mindre än hälften så stor som under växstsäsongen och betydligt mindre än under samma tid i led A och C.

I led C uppgick årsmineraliseringen i medeltal till 110 N kg/ha, vilket motsvarade 1,6 % av totalkväveinnehållet inom 0-30 cm djup i marken. De kvävegödslade leden C och D uppvisade större årsmineralisering än led A och B, som icke tillförts gödselkväve sedan försöksstarten 1984. Som redovisats i detta försök av Torstensson *et al.* (1992) minskade årsmineraliseringen med åren, där gödselkväve inte tillfördes, medan den behöll ungefär samma nivå vid tillförsel av normala mängder handelsgödselkväve.

Även i led G, utan fånggröda men med höstbearbetning och enkel flytgödselgiva på våren, rådde större N-mineralisering under tiden från gulmognad till tidig vår än under växstsäsongen. Härtill var kvävefrigörelsen från gulmognad till tidig vår större än i motsvarande led med fånggröda och vårplojning (H). Liksom i led D fastställdes i led H störst N-mineralisering under växstsäsongen. I led H var därtill den genomsnittliga årsmineraliseringen större än i led G. Orsaken är troligen, att fånggrödor förekommit i led H ända sedan 1984 och att det härigenom organiskt bundna och från utlakning skyddade kvävet efter hand ökat markens kvävelevererande förmåga.

Kvävemineraliseringen under växstsäsongen tycktes vara mindre i led G och H (med flytgödsel på våren) än i led C och D (med enbart handelsgödselkväve). Orsaken kan vara dels immobilisering av kväve i samband med flytgödsels nedbrytning (jmf. Olsson 1985; Olsson 1986; Lindén, 1987; Jakobsson & Lindén, 1993) och dels en skenbar minskning av nettomineraliseringen till följd av att denitrifikation reducerat tillgången på växttillgängligt kväve. Förklaringen är, att denitrifikation minskar de kvävevärden, avseende grödans N-upptag och mineralkväve i marken, som i den här tillämpade beräkningsmetoden använts för uppskattning av nettomineraliseringen av kväve. Denitrifikationen har konstaterats bli större efter spridning av flytgödsel (Maag, 1989), bl.a. genom ökad tillgång på lättnedbrytbara organiska föreningar (Paul & Beauchamp, 1989).



Figur 4. Kväve mineralisering (N kg/ha) årligen och under två delar av året, dels under växtsäsongen räknat från tidig vår till stråsädesgrödornas gulmognadsstadium (medeldatum: 30/3 - 3/8) och dels från gulmognad till tidig vår (medeldatum: 4/8 - 29/3). Vid gulmognad kan stråsädesgrödornas N-upptagning anses vara avslutad.

I led I och J, med dubbel flytgödselgiva på våren, blev uppenbarligen dessa skeenden ännu mer markanta. Beräkningarna indikerar nettoimmobilisering av kväve under växtsäsongen, särskilt i led I, och mindre årsmineralisering i led I och J än i led G resp. H. Större N-immobilisering genom större flytgödselgivor är också trolig, men samtidigt bör denitrifikationen ha tilltagit genom ökade mängder lättomsättbart organiskt material och högre nitratkoncentrationer, så att beräkningarna skenbart anger mindre N-frigörelse. I led J blev emellertid N-mineraliseringen under tiden från gulmognad till tidig vår större än i led H, vilket kan ha bidragit till den ökade utlakningen (tabell 15) till följd av den dubbla flytgödselgivan.

Skillnaderna i utlakning i de vårgödslade leden (tabell 15) synes, som här framgått, kunna bero av i hur hög grad N-gödsling, jordbearbetning och förekomst av fånggröda påverkat mängden mineraliserat kväve i marken under perioden från gulmognad till tidig vår. N-gödslingen synes härvid ha bidragit till att vidmakthålla N-mineraliseringsnivån.

Under hösten råder ofta för kväveomsättningen mycket gynnsamma fuktighets- och temperaturförhållanden i marken. Höstnederbörden tillsammans med minskad avdunstning ger nära optimala fuktförhållanden och marktemperaturen, vars årscykel är fasförskjuten i förhållande till lufttemperaturen, ligger fortfarande nära årsmaximivärdet. Mycket talar också för att påtaglig kvävemineralisering kan ske vid låga marktemperaturer (jmf. tabell 9 och Lindén, 1983).

Stubbearbetningen och plöjningen på hösten torde därför ha stimulerat kväveomsättningen i marken under "de kalla årstiderna", medan motsvarande stimulans i samband med vårplöjning först skedde under våren. I de led där kvävemineraliseringen gynnats under de kalla årstiderna ökade kväveutlakningsrisken. De kvävemängder som frigjordes i fånggrödeleden kunde däremot i stor utsträckning tas tillvara av rajgräset, åtminstone så länge temperaturen var tillräckligt hög för kväueupptag. På grund av att kvävefrigörelsen i fånggrödeleden genom vårplöjningen delvis försköts till växtsäsongen, kunde kvävet utnyttjas bättre.

Fleråriga kväveeffekter av odlingsåtgärderna

För beräkningarna ovan av N-mineraliseringen under växtsäsongen utnyttjades enkel-ON-parcellerna, som ej tillförts handelsgödselkväve. Enkel-ON-parcellerna i led E-J tillfördes dock flytgödsel, som således påverkat N-omsättningarna i marken under året i fråga. Grödans N-upptag i dessa enkel-ON-parceller avspeglar därför effekten av dels tidigare års odlingsåtgärder och dels det aktuella årets flytgödselgiva. Verkan av tidigare års gödslingar m.m. på kvävemineraliseringen

Tabell 10. Kvävefterverkan, N kg/ha, av odlingsåtgärderna uttryckt som dels stråsädesgrödornas N-upptag fram till gulmognad och dels N-mineraliseringen från uppkomst till gulmognad i enkel-ON-parceller (led A-D) och dubbel-ON-parceller (led E-J). N-upptaget motsvarar tillgången på utnyttjbart jordkväve. Medeltalen för led A-D avser åren 1989, 1990 och 1991 samt för led E-J åren 1989 och 1991.

Led	A	B	C	D	E	F	G	H	I ¹⁾	J ¹⁾
Flytgödsel										
Spridningstid					Tidig höst		Vår			
Mängd	0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	1 STG	2 STG	1 STG	1 STG	2 STG	2 STG
Handelsgödsel	0 N	0 N	1 N	1 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Fånggröda	-	Rajgräs	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Rajgräs ²⁾	-	Rajgräs
Plöjningstid	Höst	Vår	Höst	Vår	Vår	Vår	Höst	Vår	Höst	Vår
Utnyttjbart jordkväve										
1989 Havre	47	61	67	57	57	77	89	66	57	57
1990 Vårvete	52	49	79	68	-	-	-	-	-	-
1991 Korn	27	53	49	46	62	90	57	79	56	99
Medeltal 1989-91	42	54	65	57	60	84	73	73	57	78
N-mineralisering från uppkomst till gulmognad										
1989 Havre	11	13	25	12	14	27	29	44	13	-5
1990 Vårvete	16	47	32	43	-	-	-	-	-	-
1991 Korn	-1	43	33	44	47	80	42	60	31	72
Medeltal 1989-91	9	35	30	33	30	53	36	52	22	33

¹⁾ Annan gödsling under försöksperioden 1983-1988 (Torstensson *et al.*, 1992).

²⁾ Höstråg som fånggröda 1983-1989.

under växtsäsongen och på grödornas N-försörjning belyses renodlat i dubbel-ON-parcellerna i flytgödselleden, då flytgödsel ej tillfördes i dessa under det aktuella året. I de rena handelsgödselleden kan enkel-ON-parcellerna användas i samma syfte. Resultaten av sådana bestämningar framgår av tabell 10.

Vad gäller medeltalen för led E-J i tabell 10, avses endast åren 1989 och 1991, emedan dubbel-ON-parcellerna i dessa led av misstag ej provtogs 1990. Värdena får därför anses osäkra. Det som tidigare påpekats angående flerårsmedelvärden i fånggrödeleden gäller även tabell 10. Något rajgräs nedbrukades ej våren 1989, varför givetvis ingen kväveefterverkan kan finnas detta år. Led H utgör ett undantag. Där odlades och nedbrukades höstråg som fånggröda under perioden 1984-89. Gödslingarna har emellertid varit desamma alla år sedan 1983/84 i de rutor som avser led A-H, medan de ändrades 1988/89 i nuvarande led I och J.

Resultaten tyder på större kväveleverans från marken i led C och D genom tillförseln av handelsgödselkväve än i led A och B, utan gödselkväve sedan 1984. I led B förefaller fånggrödornas efterverkan med åren ha bidragit till kväveförsörjningen genom större N-mineralisering under växtsäsongen. I led G och H, med enkel flytgödselgiva på våren, var jordkvävetillgången och N-mineraliseringen bättre än i de rena handelsgödselkväveleden C och D, vilket belyser flytgödseln N-efterverkan. I led H, med fånggröda sedan 1984, var N-mineraliseringen större än i led G, med samma gödsling men utan fånggröda. Det genom fånggrödorna bundna och från utlakning under vinterhalvåret skyddade kvävet synes här återlevereras till marken och bidra till huvudgrödans N-försörjning. Även led F och J kännetecknas av god jordkvävetillgång genom efterverkan av tidigare års flytgödselspridning. Vad gäller led I och J bör emellertid inga slutsatser dras, eftersom flytgödseltillförseln där ändrades 1988/89.

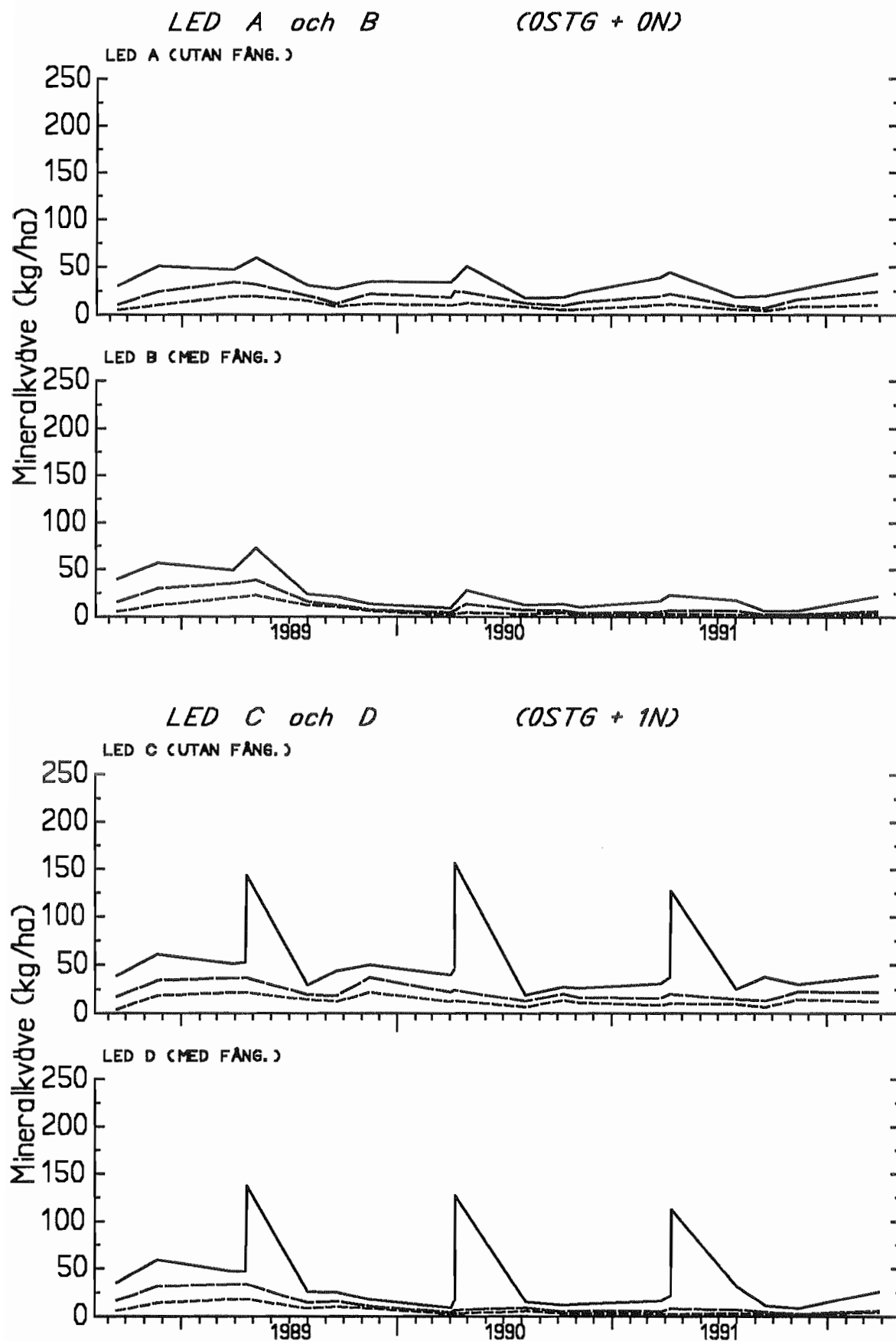
Efterverkan av fånggrödorna yttrade sig således med åren som generellt ökad N-mineralisering under växtsäsongen jämfört med leden utan fånggröda, i varje fall vid vårgödsling. Detta kontrasterar mot den N-immobilisering eller nedsatta kväveleverans som ofta fastställts efter inarbetning av rajgräs i marken (jmf. Martinez & Guiraud, 1990; Jensen, 1991b och 1992), vilket dock avser effekten av rajgräs odlat ett enda år. Även av figur 4 framgår att N-mineraliseringen under växtsäsongen med åren tilltog i fånggrödeleden. Detta kan bero på mer långsiktig inverkan och med åren ackumulerade effekter av fånggrödorna.

Mineralkvävemängderna i marken tidigt på våren (åren 1990-92) var mindre i fånggrödeleden än i motsvarande led utan fånggröda, men som tidigare visats ökade dessa påtagligt med åren (jmf. tabell 9). I leden med fånggröda kompenseras huvudgrödans även genom den med åren större N-frigörelsen under växtsäsongen. Den jämförelsevis ringa mängden utnyttjbart jordkväve i led H 1989 förklaras av litet mineralkväveförråd på våren till följd av höstrågens kväueupptag före nedbrukningen.

Mineralkväveförrådets årstidsvariationer

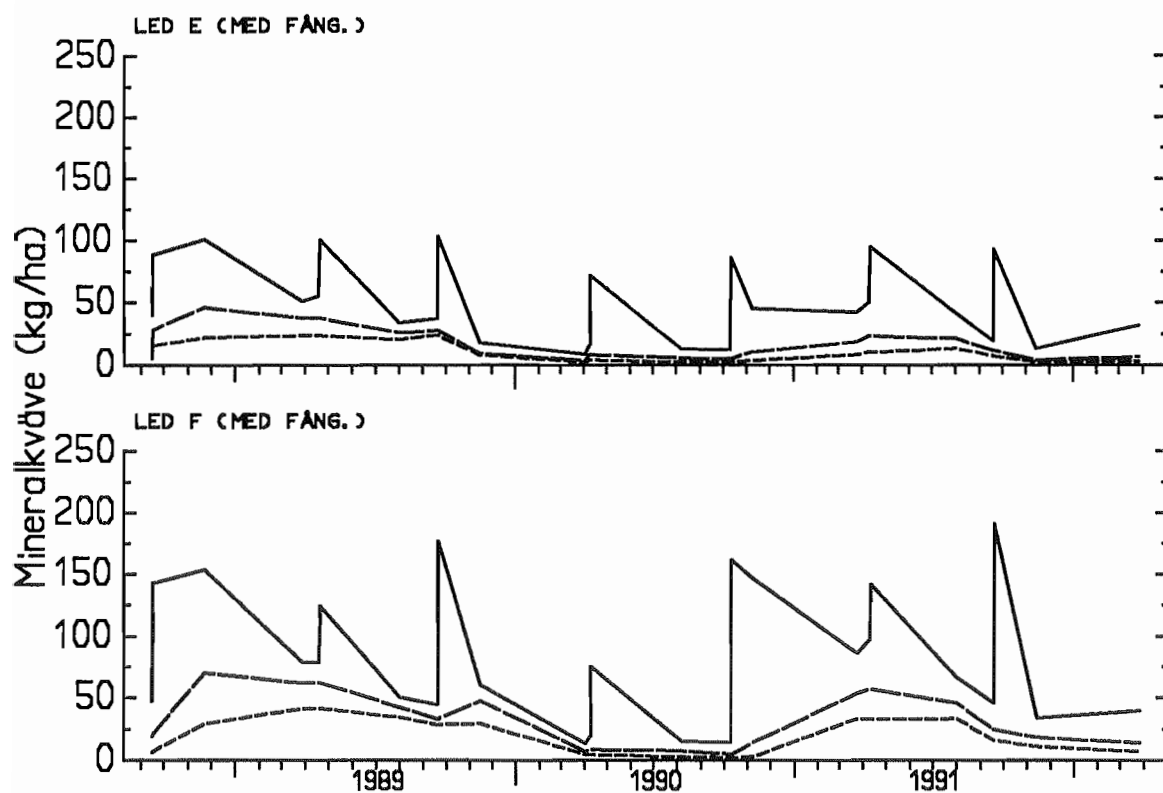
Den samlade effekten av gödslingarna, huvud- och fånggrödornas N-upptag, kvävemineraliseringen under olika perioder, N-utlakningen m.m. på årstidsvariationerna i mängderna mineralkväve inom 0-90 cm markdjup framgår av figur 5 - 7. Figuren är baserade på jordprovtagningarna, men tillförda mängder gödselkväve (ammonium- och nitrat-N) har lagts till för att bättre åskådliggöra mineralkvävedynamiken i marken. I allmänhet är provtagningsfrekvensen inte tillräckligt hög för att ge en detaljerad bild. Exempelvis kan vissa förekommande skillnader i topparnas form vara orsakade av provtagningsfrekvensen i leden. Syftet med figuren är endast att belysa principiella skillnader mellan de odlingssystem som leden representerar.

I led A och B, utan handelsgödselkväve, syntes tydligt anhopningen av mineralkväve på våren genom mineralisering i obevuxen jord (tiden mellan bearbetning och huvudgrödans uppkomst; liknande anhopningar förekom även i alla andra led men döljs i figuren av gödseltillförseln). Därefter avtog mängderna fram till gultmognad, då huvudgrödornas N-upptag avslutats. I led A, utan fånggröda, anhopades därefter mineralkväve i marken till följd av sensommarens och höstens N-frigörelse. Från senhösten 1989 till våren därefter förblev förrådet i stort sett oförändrat, troligen genom att kvävemineraliseringen kompenserat förlusterna. Efter stubbearbetningen under höstarna

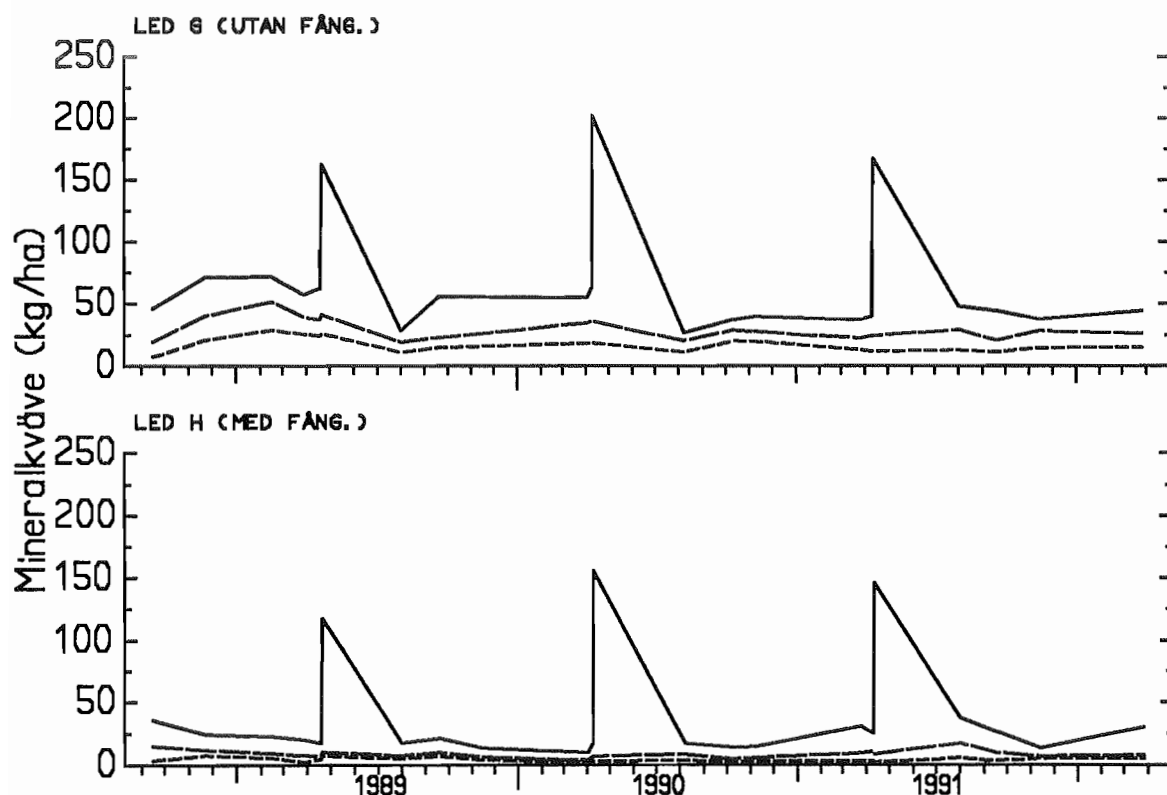


Figur 5. Markprofilens skiktvisa, (— 0-90, --- 30-90, ---- 60-90 cm), innehåll av mineralkväve i led utan resp. med fånggröda (rajgräs). Led A och B utan kvävegödsel, led C och D med enbart handelsgödselkväve.

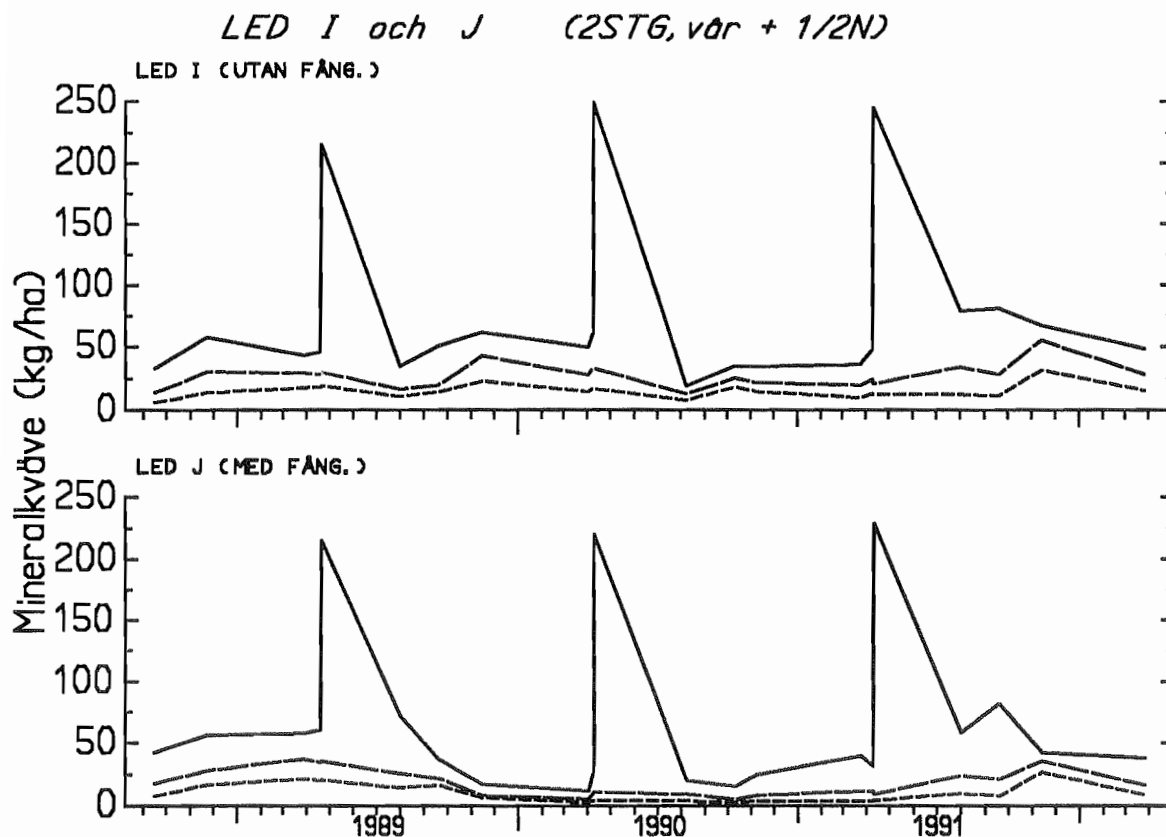
LED E (1STG) och F (2STG), höst +1/2N



LED G och H (1STG, vår + 1/2N)



Figur 6. Markprofilens skiktvisa, (— 0-90, --- 30-90, ---- 60-90 cm), innehåll av mineralkväve i dels led E och F med höstspridning av flytgödsel (enkel resp. dubbel giva) och fånggröda, och dels led G och H med vårspridning av enkel flytgödselgiva, utan resp med fånggröda (rajgräs). Halv giva handelsgödselkväve på våren (led E-H).



Figur 7. Markprofilens skiktvisa, (— 0-90, --- 30-90, ---- 60-90 cm), innehåll av mineralkväve i led I och J med vårspridning av flytgödsel (enkel resp. dubbel giva), utan resp. med fånggröda (rajgräs). Halv giva handelsgödselkväve på våren (led I och J).

1990 och 1991 ökade dock mineralkvävemängderna påtagligt fram till efterföljande vårar. I led B motverkade fånggrödorna mycket effektivt anhopningen av mineraliserat kväve under höstarna, och förråden därav förblev små från gultmognad till tidig vår. Mineralkväveförrådet i led B blev störst under vintern 1988/89 och våren därefter då ingen fånggröda fanns. De mindre mängderna under våarna åren därpå torde bero på att fånggrödorna tagit upp kväve även tidigt på våren fram till vårplöjningen. Någon påtaglig skillnad mellan led A och B i ökningen av mineralkväveförrådet under tiden närmast efter vårbearbetningen (nedbrukning av rajgräs i led B) kunde inte konstateras (figur 5, övre delen).

Genom tillförseln av handelsgödselkväve i samband med vårbruket ökade N-mängderna i marken mycket kraftigt i led C och D. De avtog sedan under grödans tillväxttid fram till gultmognad, då nästan lika små mineralkväverester återfanns som i led A resp. B. Minskningen av förråden under växtsäsongen var inte förknippad med nämnvärda utlakningsförluster. Däremot synes kväveutlakningen under vinterhalvåret i led C (tabell 15) vara relaterad till anhopningar av mineraliserat kväve i marken under hösten, vilka var större än i det icke N-gödslade A-ledet. Fånggrödan i led D tycktes kunna ta upp kväve på hösten i varje fall i samma takt som detta frigjordes (figur 5, nedre delen). Under vinterhalvåret 1988/89 fanns dock ingen fånggröda. Följden blev att kväve transporterades ned i alven, där det endast delvis kunde utnyttjas av grödan under växtsäsongen 1989. Genom införandet av fånggröda förhindrades sådan nedtransport under de efterföljande vinterhalvåren, uppenbarligen med minskad utlakningsrisk som följd (tabell 15).

Tillförseln av flytgödsel på hösten i led E och F medförde starkt stigande mängder mineralkväve i marken under denna årstid (figur 6, övre delen). Dessa avtog under höstens och vinterns lopp genom fånggrödornas N-upptag och genom kväveförluster. Utöver kraftigare N-utlakning (tabell 15) är större denitrifikationsförluster sannolika (jmf. Maag, 1989; Paul & Beauchamp, 1989). Härtill är N-immobilisering i samband med nedbrytningen av flytgödseln möjlig. Särskilt

under hösten 1990 synes emellertid rajgräsets N-upptag ha varit otillräckligt för att motverka den ökade N-utlakningsrisken genom höstspidningen. Den direkta orsaken var sannolikt att gödseln detta år spreds alltför sent i förhållande till fånggrödans kväveupptag (jmf. tabell 3).

I led G, med en enkel flytfödselgiva och halv giva handelsgödselkväve på våren, blev grödans tömning av markprofilen fram till gulmognad inte lika effektiv som i led C med enbart handelsgödselkväve (figur 6, nedre delen; jmf. tabell 9). Mängden mineralkväve i marken på hösten blev också större med något ökad N-utlakning under vinterhalvåret som följd (tabell 15). Med rajgräs som fånggröda (led H) kunde emellertid detta effektivt motverkas. Mineralkvävemängderna under höstarna och vintrarna blev här nästan lika små som i led B och D. Hösten 1988 såddes höstråg som fånggröda i led H, vilken som tidigare nämnts tog upp närmare 50 N kg/ha fram till slutet av mars 1989. Mineralkvävemängderna och N-utlakningen blev till följd därav starkt reducerade i jämförelse med andra led.

De dubbla flytgödselgivorna på våren i led I och J ledde tillsammans med handelsgödselkvävet till att mängderna mineralkväve på våren kom att överstiga 200 kg/ha (figur 7). De avtog under grödans N-upptagningstid men nådde vid gulmognad ej så låga värden som i motsvarande led med mindre N-tillförsel. Fånggrödorna i led J tycktes inte kunna ta tillvara mineralkvävet i marken tillräckligt väl, förutom under hösten 1989, med större kväveutlakning som följd än i övriga fånggrödeled med vårgödsling (tabell 15).

Avrinning och nederbörd

Årlig nederbörd och medelavrinning via dräneringssystemet redovisas i tabell 11. Nederbörden var under två av de tre åren under den normala för trakten. Årsavrinningen återspeglar i stort sett nederbördens variation, men nederbördens fördelning under året hade stor betydelse. Månadsvis nederbörd och avrinningens tidsfördelning framgår av figur 8. Normalt skedde huvuddelen av dräneringsavrinningen under vinterhalvåret med låg eller helt upphörd avrinning under sommaren.

Avrinningen via dräneringssystemen varierade något mellan leden vilket framgår av tabell 12. Någon koppling mellan behandling och skillnader i avrinning kunde inte noteras utan skillnaderna berodde sannolikt till största delen på lokala variationer i utflödet till grundvattnet.

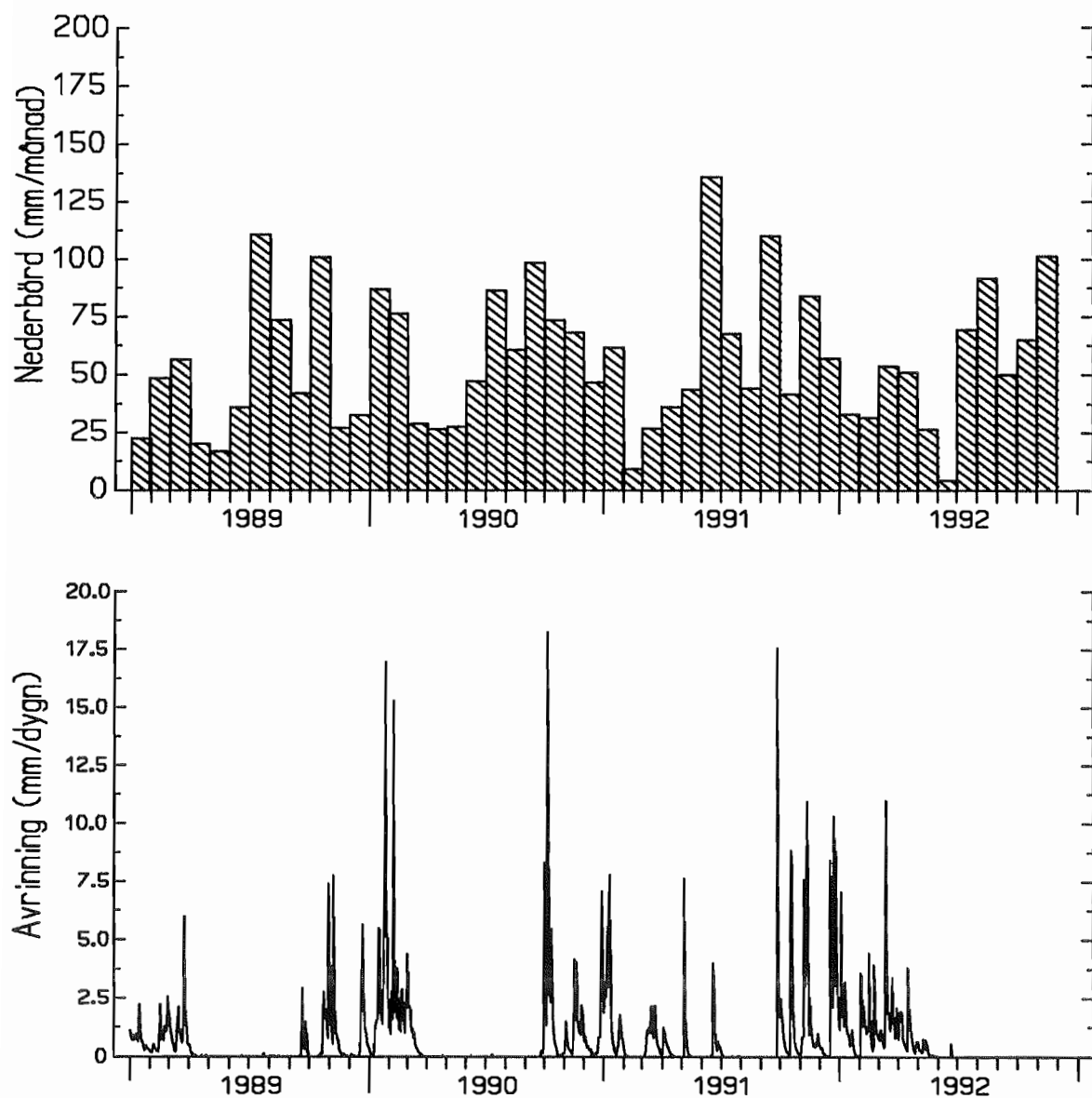
Tabell 11. Årlig nederbörd samt medelavrinning från försöksfältets 10 försöksrutor, värden i mm.

	1989/90	1990/91	1991/92
Nederbörd*	680	746	604
Dräneringsavrinning	281	280	379

* Årsmedelnederbörd 1931-60 för Genevad = 722 mm

Tabell 12. Ledvis årlig avrinning via dräneringsledningarna (mm).

Led	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Flytgödsel										
Spridningstid										
Mängd	0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	Tidig höst		Vår			
Handelsgödsel	0 N	0 N	1 N	1 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Fånggröda	-	Rajgräs	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Rajgräs	-	Rajgräs
Plöjningstid	Höst	Vår	Höst	Vår	Vår	Vår	Höst	Vår	Höst	Vår
89/90	286	311	278	325	262	258	327	244	281	238
90/91	258	296	267	342	284	252	320	263	272	242
91/92	301	330	400	450	371	357	499	355	350	372



Figur 8. Månadsvis nederbörd och uppmätt dygnsvis medelavrinning från dräneringssystemen.

Tabell 13. Aritmetiska årsmedelvärden för pH och ledningstal (mS/m) i dräneringsvatten.

Led	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Flytgödsel										
Spridningstid	0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	Tidig höst		Vår			
Mängd	0 N	0 N	1 N	1 N	1 STG	2 STG	1 STG	1 STG	2 STG	2 STG
Handels gödsel	0 N	0 N	1 N	1 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Fånggröda	-	Rajgräs	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Rajgräs	-	Rajgräs
Plöjningstid	Höst	Vår	Höst	Vår	Vår	Vår	Höst	Vår	Höst	Vår
pH										
89/90	6,3	6,4	6,0	6,3	6,0	5,7	6,2	6,1	6,3	6,5
90/91	6,3	6,4	6,0	6,4	6,1	5,8	6,2	6,2	6,3	6,3
91/92	6,3	6,4	5,8	6,2	6,0	5,8	6,0	6,1	6,2	6,2
Ledningstal (mS/m)										
89/90	40	35	41	34	32	41	48	42	36	36
90/91	36	33	36	35	34	37	47	49	33	33
91/92	33	32	36	31	30	40	47	46	36	38

Ämneskoncentrationer, pH och ledningstal i dräneringsvatten

pH och ledningstal

De aritmetiska årsmedeltalen för pH varierade mellan 5,7 och 6,5. Någon systematisk skillnad mellan leden eller uppgång eller nedgång med tiden kunde inte konstateras (tabell 13).

Ledningstalet är ett mått på vattnets totala innehåll av salter (joner). Det aritmetiska årsmedeltalet för leden varierade mellan 30 och 40 mS/m. Någon systematisk skillnad eller likhet mellan leden kunde inte iakttas.

Kväve

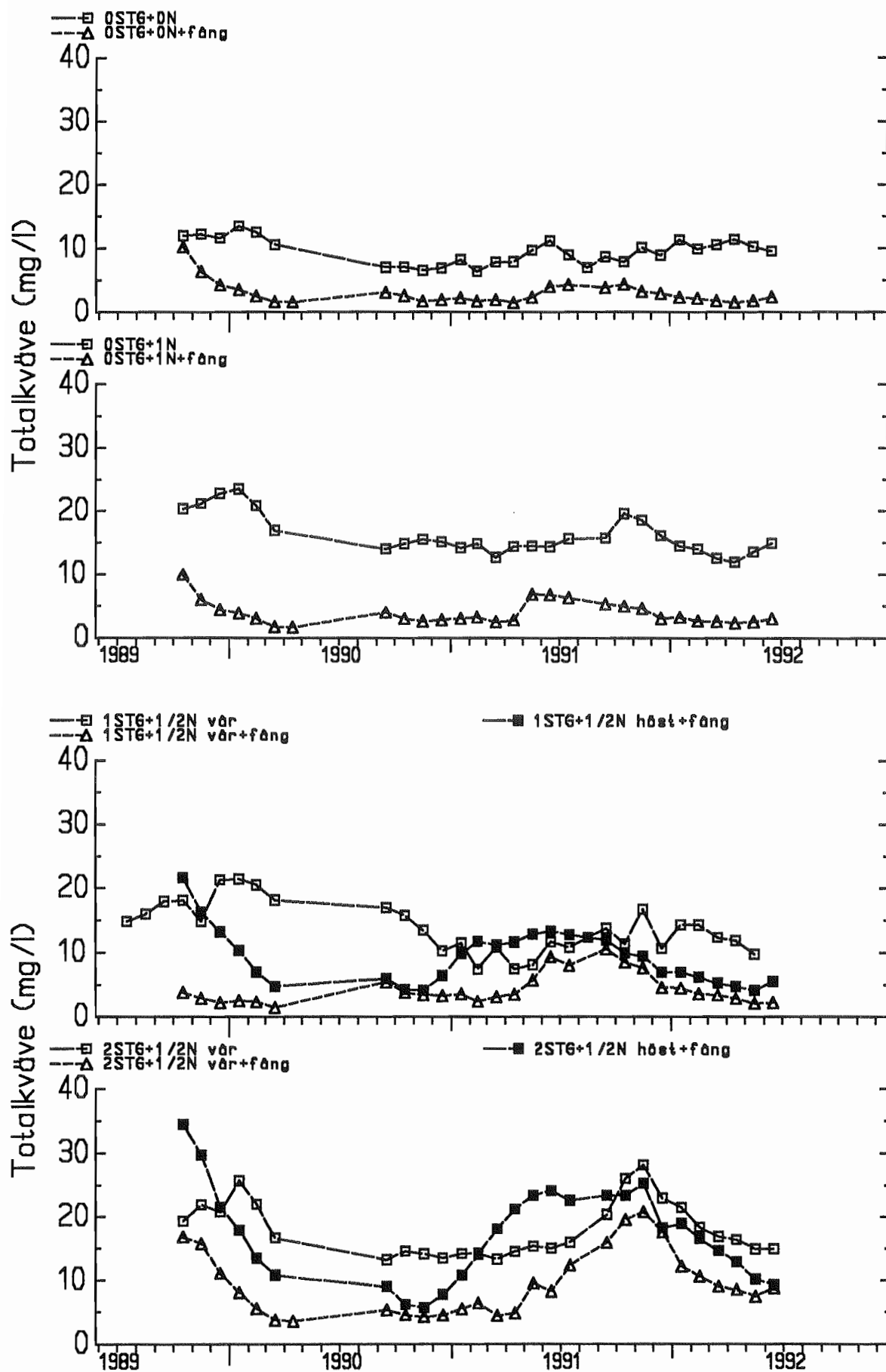
Nitratkvävet utgjorde vanligtvis minst 80% av totalkvävet (tabell 14). Koncentrationerna av kväve varierade kraftigt mellan olika behandlingsled. Rajgräsleden gav genomgående lägre koncentrationer än motsvarande led utan rajgräs (A-B, C-D, G-H och I-J).

De olika gödslings- och behandlingsstrategierna ledde till skillnader i kvävekoncentrationernas inomårsvariationer vilket framgår av figur 9. Huvuddynamiken var lika i samtliga vårgödslade led. Fånggrödorna dämpade halternas inomårsvariation jämfört med motsvarande led utan fånggröda. De största variationerna noterades naturligt i leden med dubbel flytgödselgiva.

I leden med höstspriidd flytgödsel och fånggröda erhöles tydliga uppgångar i koncentrationerna under höst och vinter. Fånggrödorna kunde helt enkelt inte fånga tillräckligt med kväve (jmf. tabell 8b och figur 3). I övriga led var uppgångarna mindre och betydligt senare i tiden.

Tabell 14. Integrerade årsmedelkoncentrationer av nitrat- och totalkväve, fosfat- och totalfosfor samt kalium i dräneringsvattnet.

Led		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Flytgödsel											
Spridningstid											
Mängd		0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	Tidig höst 1 STG	2 STG	Vår 1 STG	1 STG	2 STG	2 STG
Handels gödsel		0 N	0 N	1 N	1 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Fånggröda		-	Rajgräs	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Rajgräs	-	Rajgräs
Plöjningstid		Höst	Vår	Höst	Vår	Vår	Vår	Höst	Vår	Höst	Vår
Kväve (N mg/l)											
89/90	NO ₃ -N	11,1	3,5	20,1	3,1	9,5	18,8	17,8	1,6	20,6	7,2
	Tot.-N	12,4	4,8	21,6	4,4	11,2	20,7	19,8	2,6	22,2	8,9
90/91	NO ₃ -N	6,7	1,0	12,7	2,1	6,2	9,2	10,7	3,0	12,6	3,7
	Tot.-N	8,0	2,4	14,3	3,3	7,5	10,7	12,4	4,0	14,1	5,0
91/92	NO ₃ -N	8,6	1,4	13,7	2,2	6,1	17,4	11,9	4,6	21,8	13,1
	Tot.-N	9,7	2,7	15,5	3,5	7,6	19,2	13,1	5,6	22,0	14,7
Medeltal	NO ₃ -N	8,8	2,0	15,5	2,5	7,3	15,1	13,5	3,1	18,3	8,0
89/92	Tot.-N	10,0	3,3	17,1	3,7	8,8	16,9	15,1	4,1	19,4	9,5
Fosfor (P mg/l)											
89/90	PO ₄ -P	0,042	0,018	0,019	0,048	0,031	0,024	0,018	0,031	0,031	0,050
	Tot.-P	0,079	0,059	0,037	0,067	0,066	0,048	0,059	0,071	0,057	0,075
90/91	PO ₄ -P	0,034	0,045	0,016	0,052	0,026	0,017	0,009	0,027	0,034	0,036
	Tot.-P	0,084	0,064	0,069	0,075	0,080	0,043	0,033	0,059	0,054	0,062
91/92	PO ₄ -P	0,039	0,050	0,009	0,054	0,025	0,012	0,003	0,026	0,027	0,028
	Tot.-P	0,088	0,065	0,024	0,070	0,063	0,024	0,030	0,062	0,040	0,057
Medeltal	PO ₄ -P	0,038	0,038	0,015	0,051	0,027	0,018	0,010	0,028	0,031	0,038
89/92	Tot.-P	0,084	0,063	0,043	0,071	0,070	0,038	0,041	0,064	0,050	0,065
Kalium (K mg/l)											
89/90		10,4	8,0	9,3	7,0	9,5	15,2	11,6	9,5	8,8	10,7
90/91		12,0	10,0	11,5	8,7	11,7	15,1	11,3	11,6	10,0	12,1
91/92		9,2	8,4	7,8	7,0	9,3	14,8	10,4	9,7	9,3	12,0
Medeltal 89/92		10,5	8,8	9,5	7,6	10,2	15,0	11,1	10,3	9,4	11,6



Figur 9. Totalkvävekoncentrationernas inomårsvariation (1-månadsintegrerade värden).

Tabell 15. Årlig utlakning av kväve fosfor och kalium med dräneringsvattnet.

Led		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Flytgödsel	Spridningstid										
	Mängd	0 STG	0 STG	0 STG	0 STG	Tidig höst		Vår			
Handels gödsel		0 N	0 N	1 N	1 N	1 STG	2 STG	1 STG	1 STG	2 STG	2 STG
Fånggröda		-	Rajgräs	-	Rajgräs	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N	1/2 N
Plöjningstid		Höst	Vår	Höst	Vår	Rajgräs	Rajgräs	Höst	Rajgräs	Höst	Rajgräs
						Vår	Vår				
Kväve (N kg/ha)											
89/90	NO ₃ -N	31,8	10,9	55,4	10,1	24,9	48,4	58,5	4,0	58,0	17,2
	Tot.-N	35,4	14,9	59,4	14,4	29,3	53,2	64,8	6,3	62,4	21,2
90/91	NO ₃ -N	17,7	3,0	34,0	7,2	17,6	23,2	34,1	8,0	34,2	9,0
	Tot.-N	20,7	7,2	37,0	11,3	21,4	27,0	39,6	10,7	38,4	12,2
91/92	NO ₃ -N	25,8	4,6	55,5	10,0	22,4	62,1	59,2	16,4	76,2	48,6
	Tot.-N	29,2	8,9	62,2	15,6	28,1	68,7	65,4	20,0	77,0	54,6
Medeltal	NO₃-N	25,1	6,2	48,3	9,1	21,6	44,6	50,6	9,5	56,1	24,9
89/92	Tot.-N	28,4	10,3	52,9	13,8	26,3	49,6	56,6	12,3	59,3	29,3
Fosfor (P kg/ha)											
89/90	PO ₄ -P	0,119	0,149	0,053	0,156	0,081	0,061	0,059	0,076	0,087	0,119
	Tot.-P	0,226	0,228	0,102	0,219	0,173	0,123	0,192	0,173	0,160	0,179
90/91	PO ₄ -P	0,088	0,134	0,043	0,176	0,075	0,044	0,030	0,071	0,091	0,087
	Tot.-P	0,216	0,189	0,183	0,256	0,226	0,085	0,106	0,154	0,146	0,150
91/92	PO ₄ -P	0,119	0,165	0,037	0,242	0,094	0,044	0,017	0,092	0,095	0,104
	Tot.-P	0,264	0,215	0,095	0,317	0,233	0,085	0,150	0,221	0,139	0,212
Medeltal	PO₄-P	0,109	0,149	0,044	0,191	0,083	0,050	0,035	0,080	0,091	0,103
89/92	Tot.-P	0,235	0,211	0,127	0,264	0,211	0,098	0,149	0,183	0,148	0,180
Kalium (K kg/ha)											
89/90		29,6	24,9	25,7	22,9	24,8	39,1	37,9	23,3	24,6	25,3
90/91		30,9	29,6	30,6	29,9	33,3	38,1	36,1	30,6	27,3	29,3
91/92		27,5	27,9	31,2	31,4	34,5	52,7	51,9	34,3	32,5	44,7
Medeltal 89/92		29,3	27,5	29,2	28,1	30,9	43,3	42,0	29,4	28,1	33,1

Fosfor och kalium

Integrerade medelkoncentrationer av fosfat- och totalfosfor i dräneringsvattnet redovisas i tabell 14. Någon inverkan på fosforkoncentrationerna som direkt kan härledas till ledens olika behandlingar kunde inte konstateras. Den dominerande orsaken till skillnaderna i fosforkoncentrationer mellan leden är sannolikt skillnader i markkemiska egenskaper, t.ex. redoxpotential, vilket medför att fosfor fastläggs i olika hög grad i alven. Mellanårsvariationerna kan delvis vara en effekt av olika avrinningsmönster.

I tabell 14 redovisas vidare integrerade medelkoncentrationer av kalium i dräneringsvattnet från de olika leden. Höstspridning av flytgödsel i dubbel dos ledde genomgående till de högsta koncentrationerna av kalium. I led som enbart gödslades på våren syns inga tydliga skillnader orsakade av givans storlek, men det föreligger en tendens till lägre kaliumhalter i fånggrödeleden. Här avviker dock ledet med dubbla flytgödselgivan men där var också fånggrödans tillväxt sämre.

Utlakningsförluster

Kväve

Den årliga totalutlakningen av kväve redovisas i tabell 15. Kväveutlakningen varierade mellan 6,3 och 77 N kg/ha och år med stora skillnader mellan flera av leden. Utlakningsförlusterna från led med fånggrödor var väsentligt mycket lägre än från motsvarande led utan fånggrödor. Även vid höstspridning av flytgödsel i enkel och dubbel dos (led E och F) var fånggrödeverkan god (54 resp. 16 % utlakningsminskning) i jämförelse med motsvarande vårspridda led utan fånggröda (G och I). Motsvarande led med vårspridning och fånggröda (H och J) gav ännu bättre effekt (78 resp. 50 % utlakningsminskning) jämfört med G resp. I. Även det ogödslade och det normalt handelsgödslade

ledet uppvisade goda utlakningsreduktioner till följd av fånggrödan (64 resp. 74 %). I absoluta tal varierade utlakningsminskningarna till följd av fånggröda mellan 18,3 och 44,3 N kg/ha.

Det icke kvävegödslade utan fånggröda (A) ledet visade stor uthållighet vad gäller utlakningens storlek vilket tyder på stora förråd av tämligen lättmineraliserat organiskt kväve i marken, förmodligen en följd av lång tids kreatursintensiv drift. Utlakningen har dock successivt sjunkit och var 1991/92 ca hälften så stor som för åtta år sedan då kvävegödslingen upphörde (jmf. Torstensson *et al.*, 1992).

Fosfor

Beräknade årliga utlakningar av fosfat- och totalfosfor redovisas i tabell 15. De uppmätta totalutlakningarna varierade mellan 0,085 och 0,26 P kg/ha och år. Några entydiga samband med olika behandlingar kunde inte konstateras. De utlakade mängderna utgjorde omkring 1% av normal fosforgödsling och får ur lantbrukarens synpunkt anses vara utan större betydelse. Däremot kan de ha stor betydelse för den mottagande recipienten, där fosfor kan bidra till ökad algproduktion och därav följande belastning på syrgasinnehållet i vattnet.

Kalium

Den årliga totalutlakningen av kalium redovisas i tabell 15. Utlakningen varierade mellan 23 och 53 K kg/ha och år. Fånggrödorna tycks inte ha påverkat kaliumförlusterna nämnvärt. Det är tydligt att på lätta jordar är utlakningsförlusterna av kalium, vid sidan om bortförslens med grödan, av stor betydelse för markens kaliumhushållning. För dagen anses inte utlakningen av kalium utgöra något direkt hot mot vattenmiljön.

SAMMANFATTNING

I ett treårigt utlakningsförsök på en sandig mojord vid Mellby i södra Halland 1989-1992 studerades utlakningen av kväve med dräneringsvatten i relation till kvävedynamiken i marken och grödornas kväveutnyttjande. Försöket omfattade olika gödslingssystem med och utan svinflytgödsel. För att pröva den utlakningsminskande verkan av en fånggröda såddes i vissa led rajgräs (italienskt rajgräs 1989 och 1990 samt engelskt rajgräs 1991) in i huvudgrödan på våren. Grödorna åren 1989-91 var havre, vårvete och kom. Leden med rajgräs vårplöjdes, medan leden utan fånggröda stubbearbetades efter skörd och höstplöjdes.

Fånggrödorna i ett led med enbart en normal giva handelsgödselkväve (kalkammonsalpeter) medförde en utlakningsreduktion på 74 % och i ett led med normal flytgödselgiva på våren och halv handelsgödselkvävegiva 78 % minskning. Vid dubbel flytgödselgiva på våren stannade reduktionen vid 50 %. Höstspridning av flytgödsel i normal resp. dubbel giva gav, trots fånggröda, ungefär dubbelt så stor utlakning som motsvarande givor på våren. Ett led utan kvävegödsling under åtta år och utan fånggröda gav under perioden ca 50 % mindre utlakning än de vårgödslade leden utan fånggröda.

I detta ogödslade led blev kärnsörden i medeltal bara 34 % av avkastningen efter normal giva handelsgödselkväve. Enkel flytgödselgiva på våren i kombination med halv giva handelsgödselkväve gav 7 % högre skörd men mer liggsäd än normal handelsgödselkvävegiva. Dessa båda normalgödslade led gav det bästa gödselkväveutbytet (82 % av tillförd N-giva bortförd med kärnsörden). Dubbel flytgödselmängd på våren liksom höstspridning sänkte både skörd och kväveutbyte. Orsaken var kraftigare liggsädesbildning resp. större N-förluster.

Kärnsördarna 1989 och 1990 i de vårgödslade leden med rajgräs blev 7-24 % lägre än i motsvarande led utan fånggröda. Det blev även minskat gödselkväveutbyte i rajgräsleden. År 1991 hade dock skördeskillnaderna mellan leden med och utan fånggröda i hög grad utjämnats, uppenbarligen genom ökad kväveefterverkan av rajgräset med åren. Viss inverkan av årsmånsvariationer och varierande kvävehalt i nedbrukat växtmaterial kan inte uteslutas. Viktiga orsaker till skördesänkningen i leden med insådd fånggröda synes vara konkurrens med huvudgrödan och stort mine-

ralkväveunderskott tidigt på våren jämfört med leden utan fånggröda. Någon nettoimmobilisering efter nedbrukning av fånggröda kunde inte beläggas.

Efter vårspridning hade flytgödselammoniumkvävet ca 50 % verkningsgrad, räknat som gödsel-N upptaget av grödorna i förhållande till givans storlek. Efter höstgödsling erhöles sämst verkan. I handelsgödselkväveledet utan fånggröda hade kalkammonsalpetern i medeltal 64 % verkningsgrad.

Det insådda rajgräset hade vid stråsådens gulmognad tagit upp 7-14 N kg/ha i de ovanjordiska växtdelarna och fram till i mitten av november 11-90 kg/ha, mest där N-tillgången i marken var god till följd av flytgödselspridning på hösten eller större N-mineralisering genom flerårig flytgödseltillförsel. Fram till senhösten producerade rajgräset 800-2700 kg torrsubstans per ha. Från senhöst till tidig vår förblev rajgräsets N-innehåll i stort sett oförändrat.

Fånggrödorna minskade mineralkvävemängerna i marken (0-90 cm djup) från gulmognad till senhöst utom i leden med höstspridningen av flytgödsel. I leden utan fånggröda ledde kväve mineraliseringen under hösten till ökning av mineralkväveförråden, vilket bör ha bidragit till de större utlakningsförlusterna. Mineralkväveförråden i fånggrödeleden förblev generellt små fram till våren. Under tiden från vårplöjning/sådd till huvudgrödans uppkomst ökade mineralkväveförrådet i marken mer i leden med fånggröda än i motsvarande led utan fånggröda.

Flerårig flytgödselspridning förstärkte kväveleveransen från marken, jämfört med tillförsel av enbart handelsgödselkväve, medan den avtog med åren i ledet utan kvävetillförsel och utan fånggröda. Beräkningar visar dock att utöver större utlakning måste flytgödseln ha medfört ökade kväveförluster genom ammoniakavdunstning och/eller denitrifikation.

I de höstbearbetade leden utan fånggröda blev nettomineraliseringen av kväve från gulmognad till tidigt på våren nästa år större än i leden med fånggröda. Med fånggröda och vårplöjning blev istället kväve mineraliseringen större under växtsäsongen. Det förefaller som om höstbearbetningarna stimulerat N-frigörelsen under vinterhalvåret, vilket måste ha bidragit till den kraftigare utlakningen. Med rajgräs och vårplöjning synes kväve mineraliseringen istället i hög grad ha skjutits upp till växtsäsongen. Mängderna tilltog med åren, vilket kan bero på flerårig inverkan av rajgräset.

Kombinationen fånggröda och vårplöjning tycks inte bara kunna bidra till att minska kväveförlusterna genom bindning av kväve i växtmaterial utan förefaller också vara ett medel att styra kväveprocesserna i marken, så att kvävet i större utsträckning frigörs då det kan utnyttjas av grödorna.

SLUTSATSER

Gödslingens och fånggrödornas inverkan på kväveutlakningen

Rajgräs som fånggröda i kombination med vårplöjning och normalt rekommenderade kvävegivor i form av handelsgödsel eller handelsgödsel och flytgödsel tillförda på våren minskade $\text{NO}_3\text{-N}$ -halterna i dräneringsvattnet under åren 1989/90 - 1991/92 till värden mindre än 5 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ per liter, dvs. under den hygieniska gränsen för dricksvatten. Denna gräns sammanfaller också med den målsättning som, mera ur limnologisk synpunkt, formulerats i "Natur'90", SNV (1990).

Denna sänkning av $\text{NO}_3\text{-N}$ -halterna uppnåddes ej vid höstspridning av flytgödsel eller efter dubbel (överoptimal) flytgödselgiva på våren. Med normal kvävegödsling och med fånggröda blev nitratutlakningen mindre än utan N-gödsling (i 8 år) och utan fånggröda.

Resultaten tyder på att ekonomiskt optimal N-gödsling och minimerad kväveutlakning i princip är förenliga mål. Odlingssystem med rajgräs som fånggröda synes möjliggöra ekonomiskt godtagbar avkastningsnivå i jordarts- och klimatområden med stora kväveutlakningsförluster såsom i södra Halland, samtidigt som nitrat halterna i det avrinnande vattnet blir godtagbara. Öppen växtodling utan fånggröda men med starkt nedsatt N-gödsling förefaller vara ett sämre alternativ i dessa avseenden.

Inverkan på huvudgrödans avkastning

I leden med normal N-gödsling sänkte rajgräset kärnskördarna 1989 och 1990 med 300-1400 kg/ha eller 7-14 %. Viktiga orsaker till skördesänkningen i leden med insått rajgräs synes vara konkurrens med huvudgrödan och stort mineralkväveunderskott tidigt på våren jämfört med leden där rajgräs ej odlades. Någon nettoimmobilisering av kväve efter nedbrukning av rajgräs kunde inte beläggas.

Kvist (1992) anger ett skördebortfall på i genomsnitt bara 110 kg kärna per ha, eller 2,5 %, efter sådd av rajgräs samtidigt med huvudgrödan, vilket gäller odling av rajgräs enbart ett år. Nedsatt skörd av huvudgrödan under insåningsåret efter sådd av rajgräs redovisas likaså i danska undersökningar (Stokholm, 1979), men även ingen eller obetydlig inverkan har rapporterats (Jensen, 1991a och 1991b). Breland (1991) i Norge anger 0-10 % skördereduktion vid insådd.

År 1991 hade skördesskillnaderna mellan leden med och utan rajgräs i hög grad utjämnats. Detta synes huvudsakligen bero på att de negativa effekterna motverkats genom ökad kväveefterverkan av rajgräset med åren. Viss inverkan av årsmånsvariationer och varierande kvävehalt i nedbrukat växtmaterial kan inte uteslutas. Övergången till det från konkurrenssynpunkt mindre aggressiva engelska rajgräset kan också ha inverkat.

Minskad avkastning efter rajgräs som fånggröda beroende på sämre N-tillgång rapporteras av bl.a. Martinez & Guiraud (1990) och Jensen (1991a och 1991b). Resultaten från detta försök visar emellertid, att återkommande odling av rajgräs som fånggröda på längre sikt kan ha positiv kväveefterverkan (jmf. Stokholm, 1979) och öka markens kväveleverans. Detta kan minska gödselkostnaderna något.

Målet bör vara att söka förena rajgräsets utlakningsbegränsande förmåga med åtgärder som minskar dess negativa verkningar på skörden, som exempelvis:

- Reducering av rajgräsets konkurrens med hjälp av insåningstidpunkt och utsädesmängd (Kvist, 1992). I denna undersökning var utsädesmängden 7-9 kg/ha, men enligt Kvist (1992) synes en minskning till 3 kg vara möjlig under vissa betingelser.
- Utveckling av en jordbearbetnings- och gödslingsstrategi, som motverkar mineralkväveunderskottet tidigt på våren efter odling av rajgräs som fånggröda. Härvid bör bl.a. inverkan av tidigare nedbrukning i förhållande till vårsådden prövas.

Kväve- och fosforutbyte med skörden samt gödselkvävet utnyttjandegrad

Skördesänkningarna i leden med fånggröda innebar nedsatt kväveutbyte, räknat som mängd kväve bortförd med kärnskörd i förhållande till kvävegödslingens storlek. Sämst blev kväveutbytet efter höstspredning av flytgödsel och dubbel flytgödselgiva på våren.

Avkastningsnivån och gödslingen påverkade även motsvarande fosforutbyte. Vid för stor flytgödseltillförsel, som ledde till nedsatt kärnskörd p.g.a. överoptimal N-tillgång, blev fosforutbytet sämre, liksom vid låg skörd till följd av för liten N-tillgång (i icke kvävegödslade led). Vid godtagbart fosfortillstånd i marken innebär för stora flytgödselgivor en helt obehövlig P-upplagring i marken. Fosfortillförseln bör anpassas till förväntad skördenivå, exempelvis genom att reducera flytgödselgivorna och istället tillföra mera handelsgödselkväve, där så behövs.

Gödselkväveutnyttjandegraden var större för handelsgödselkväve än för flytgödselns ammoniumkväveinnehåll. Orsakerna kan vara ammoniakavdunstning i samband med flytgödselspredningen, denitrifikation, N-immobilisering under nedbrytningen av flytgödseln i marken och ökad N-utlakning efter höstspredning.

Det föreligger här ett behov av metoder som reducerar förlusterna och möjliggör spridning vid gynnsamma tidpunkter. Ett sådant alternativ är släpslangspredare, som bl.a. tillåter bandspredning av flytgödsel i växande grödor på våren med gott utnyttjande av kvävet (Rodhe & Salomon, 1992; Jakobsson & Lindén, 1993). En annan möjlighet är myllning av flytgödseln med bandspredare.

Rajgräsets efterverkan

Som nämnts kan skördenedsättningen 1990 i leden med fånggröda bl.a. sammanhålla med rajgräsets förstaårsefterverkan. Vårplöjningen i sig kan också ha påverkat grödornas tillväxt. Lägre skörd och försämrade kvävetillgång efter rajgräs som fånggröda (under ett enda föregående år) rapporteras av Martinez & Guiraud (1990) samt Jensen (1991a och 1991b). Den senare anger N-immobilisering som orsak. Breland (1989) rapporterar nära neutral inverkan på skörden av den efterföljande grödan efter nedplöjning av rajgräs på hösten. Breland fastslår vidare, att ingen signifikant nettofrigörelse av kväve, som bidrar till efterföljande grödas N-försörjning, kan väntas efter nedplöjning av en rajgräsfånggröda, vilket gäller odling av rajgräs ett enda år och höstplöjning.

I Mellbyförsöket synes grödans N-tillgång i fånggrödeleden tydligast ha påverkades av de mindre mineralkvävemängderna i marken tidigt på våren genom rajgräsets N-upptagning bl.a. under tiden närmast före plöjningen. Med åren synes dock rajgräsets efterverkan ha lett till mer mineralkväve i marken på våren vilket resulterade i bättre skörd.

För att förbättra eventuellt försämrade kvävetillgång i marken efter nedplöjning av rajgräs på våren behöver som nämnts en lämplig jordbearbetnings- och gödslingsstrategi utvecklas, i vart fall om rajgräs odlas som fånggröda endast enstaka år. Enligt Jensen (1991a och 1991b) var det dock inte möjligt att upphäva den negativa effekten av rajgräset genom ökad kvävetillförsel upp till 100 N kg/ha. Detta antyder enligt Jensen, att det kanske var andra skeenden än kväveomsättningen i marken som inverkade. Förutom jordbearbetningseffekter kan växtskadliga ämnen som bildas vid omsättningen i marken vara en möjlig förklaring. Det kan tänkas att man efter ett enstaka år med rajgräs i viss mån kan motverka negativ N-efterverkan genom att plöja så tidigt som möjligt på våren eller också på senhösten. På lerjordar är höstplöjning det enda möjliga alternativet. Men som angivits av Breland (1989) och Wallgren & Lindén (1991) kan man ej ens efter höstplöjning räkna med nämnvärt positiv N-efterverkan av rajgräs, omlott ett enda år.

Rajgräsets kväveupptagningsförmåga

Genom insådden var rajgräset etablerat, då huvudgrödan mognade och dess N-upptagning upphörde. Därmed kunde rajgräset ta upp kväve från marken, allteftersom detta sedan frigjordes fram till senhösten. Mineralkväveförrådet hölls på en mycket låg nivå under hösten och vintern. En sådan insådd fånggröda måste i allmänhet ge säkrare effekt än en fånggröda som sås efter skörden. Efter höstsådd, oftast föregången av plöjning som torde stimulera mineraliseringen, dröjer det ju en tid, tills ett väl etablerat rotsystem utvecklats. Den stimulerande effekten av jordbearbetningen tycks också kvarstå en tid. Under tiden kan mineraliserat kväve transporteras ned genom marken och gå förlorat.

Fram till mitten av november tog rajgräset i medeltal upp 37 N kg/ha i de ovanjordiska växtdelarna, varav ca 27 N kg/ha under hösten. Om man räknar med att rötterna vid denna tidpunkt innehöll 25 % av den totalt upptagna N-mängden (jmf. Jensen, 1991a), borde hela grödan i genomsnitt ha tagit upp närmare 50 N kg/ha. Som mest producerade rajgräset 2700 kg ts per ha fram till senhösten. Motsvarande N-upptag utgjorde 90 N kg/ha i de ovanjordiska växtdelarna och inkl. rötterna gott och väl 100 kg. Jensen (1991a) redovisar ett kväveupptag i rajgräs på upp till 60 N kg/ha fram till december i försök på Sjølland. Breland (1989) fastställde i försök i Sydnorge N-upptag på 17-94 N kg/ha fram till nedplöjning på hösten.

Tillväxten och N-upptaget synes i hög grad hänga samman med kvävetillgången i marken under hösten. I en väletablerad insådd rajgräsgröda har man således ett medel att ta tillvara stora kvävemängder i marken på hösten under sydsvenska eller liknande förhållanden och exempelvis binda outnyttjat gödselkväve, som finns kvar efter skörden till följd av nedsatt tillväxt eller om N-givan av misstag överdoseras.

Viss N-upptagning ägde uppenbarligen rum tidigt på våren, då större N-utlakningsrisk i princip ännu föreligger. Kväveupptagning under mildare vinterperioder kan ej heller uteslutas. Detta konstaterades tydligt i den höstråg som etablerades som höstsådd fånggröda i försöket 1988.

Flytgödsels inverkan på N-utlakningen

En måttlig flytgödselgiva på våren i kombination med halv handelsgödselgiva visade sig ge minst lika hög avkastning som en normal mängd handelsgödselkväve. Flytgödseln tycktes dock medföra något överoptimal kväveförsörjning med ökad liggsädesbildning och mer outnyttjat mineralkväve i marken vid N-upptagningens avslutning. Med fånggröda undveks dock risken för ökade utlakningsförluster.

Däremot förmådde inte rajgräset att lika effektivt motverka den ökade N-utlakningen efter dubbel flytgödselgiva på våren. Fånggrödoma kunde ej heller eliminera den ökade N-utlakningen efter flytgödselspridning på hösten. Vårspredning med odling av fånggröda är således det säkraste alternativet.

Enligt lagen om skötsel av jordbruksmark (SFS 1991:1295) är det tillåtet att under hösten (1/8 - 30/11) sprida stallgödsel i växande gröda eller före höstsådd. Resultaten från denna undersökning visar emellertid, att stallgödselgivorna i sådana fall bör begränsas, så att tillförseln av gödselammoniumkväve ej överstiger de N-mängder som höstväxande grödor kan ta upp utöver markens egen kvävemineralisering.

För beräkning av tillgänglig upptagskapacitet för stallgödselkväve vid odling av rajgräs som fånggröda kan man utgå ifrån att insått rajgräs vid hygglig utveckling tillvaratar 30-40 kg gödselammoniumkväve per ha från huvudgrödans skörd och till senhösten. Vid odling av höststråsäd uppgår den tillgängliga upptagskapacitet till endast 10-15 N kg/ha fram till begynnande bestockning (Lindén & Wallgren, 1988; Torstensson et al., 1992). Här angivna värden förutsätter att gödseln sprids tidigt på hösten (i Sydsverige före september månads utgång), vid senare spridning får man räkna med lägre upptagskapacitet. Om sådd av höststråsäd föregås av vallbrott, torde kväveefferverkan av vallbrottet "förbruka" all tillgänglig upptagskapacitet (Gustafson & Torstensson, 1988). Upptagskapaciteten hos höstoljeväxter torde ligga på samma eller något högre nivå än rajgräsfånggrödans (Lindén & Wallgren, 1990).

Kvävebalans och kvävemineralisering

Skördesänkningen i fånggrödeleden 1989 och 1990 medförde som nämnts mindre kvävebortförsel med skördeprodukterna, samtidigt som utlakningsförlusterna under vinterhalvåret reducerades. Eftersom mindre nitratkväve fanns i marken i fånggrödeleden under de kalla årstiderna, är det också troligt att denitrifikationen blev mindre. Dessa förhållanden tyder tillsammans med rajgräsets N-upptag på att upplagring av kväve i organisk form ägt rum i marken. En sådan större kvävepool måste med tiden medföra tilltagande N-mineralisering. Den ökade kvävefrigörelsen under växtsäsongen och på helårsbasis i fånggrödeleden tyder på att så var fallet.

I ledet utan kvävetillförsel och utan fånggröda tycks däremot markens kvävemineralisering ha avtagit med åren i jämförelse med normal handelsgödselkvävegiva. En under tidigare skeden uppbyggd kvävepool måste ha exploaterats i detta ogödslade led. Även den med åren avtagande N-utlakningen tyder här på minskad kväveleverans från marken.

Den fleråriga flytgödselspridningen förstärkte kväveleveransen från marken under växtsäsongen jämfört med tillförsel av enbart handelsgödselkväve. Av resultaten från den använda beräkningsmetoden att döma tycktes dock inte flytgödseltillförseln ge större årsmineralisering. Detta är emellertid ej troligt utan tyder utöver utlakning på ökade kväveförluster genom ammoniakavdunstning och/eller denitrifikation.

Det förefaller som om stubbearbetningen och plöjningen på hösten stimulerat N-frigörelsen under de kalla årstiderna, vilket måste ha bidragit till den större utlakningen i leden utan fånggröda. I dessa utgjorde N-mineraliseringen från gulmognad till vår mer än hälften av årsmineraliseringen. I förhållande härtill var de outnyttjade mineralkväveförråden vid gulmognad i de normalgödslade leden för små för att påtagligt ha bidragit till N-utlakningen.

Med rajgräs och vårplöjning synes kvävemineraliseringen i hög grad ha skjutits upp till växtsäsongen. Kombinationen fånggröda och vårplöjning tycks således inte bara kunna bidra till att

minska kväveförlusterna under vinterhalvåret genom bindning av kväve i växtmaterial utan förefaller också vara ett medel att styra kväveprocesserna i marken, så att kvävet i större utsträckning frigörs då det kan utnyttjas av grödorna.

Det kan i detta försök ej avgöras, i hur hög grad den uteblivna jordbearbetningen på hösten (i leden med rajgräs) bidragit till minskad nettomineralisering och utlakning av kväve under vinterhalvåret. Det borde därför undersökas, om man med ändrade former av bearbetning kan styra kväveomsättningen, så att anhopning av mineraliserat kväve i marken undviks under de kalla årstiderna och så att kvävefrigörelsen i större utsträckning förskjuts till växtsäsongen.

CONCLUSIONS

Influence of fertilization and catch crop on nitrogen leaching

Ryegrass used as catch crop, in combination with spring ploughing and normally recommended nitrogen application as commercial fertilizer and liquid manure in combination applied in the spring, diminished the $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in drainage water during 1989/90 - 1991/92 to values less than 5 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ per litre i.e. under the hygienic limit for drinking water. This concentration also fulfills the long-term limnological requirements as stated in "Natur 90", SNV (1990).

The above decrease in $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration was not achieved when liquid manure was applied in the autumn or after double dose (over-optimal) in the spring. With normal nitrogen doses together with a catch crop the nitrogen leaching was less than without fertilization (for 8 years) and without a catch crop.

The results show that an economically optimal nitrogen application and minimized leaching are achievable goals. Cropping systems with ryegrass as a catch crop seem to enable economically acceptable yield levels on soils and under climatic conditions leading to high nitrogen losses, as in southern Halland, when at the same time the nitrogen concentrations in the discharge water are acceptable. Cropping systems without a catch crop but with strongly reduced N-fertilization seem to be a poorer alternative in this respect.

Influence on the yield of the main crop

In the treatments with normal N-application the ryegrass diminished the grain yields in 1989 and 1990 by 300-1400 kg/ha or 7-14 %. Important reasons for the yield depression in the ryegrass treatments seems to be competition with the main crop and a major deficit of mineral nitrogen early in the spring compared to treatments without ryegrass. Some net immobilization of nitrogen after ploughing of ryegrass could not be supported.

Kvist (1992) shows a mean yield depression of only 110 kg grain per hectare or 2.5 % when the ryegrass was sown at the same time as the main crop. This is when ryegrass was grown for only one year. Yield depressions in the main crop during the first year are also reported from Danish field trials (Stokholm, 1979) but a small negligible influence has also been reported (Jensen, 1991a and 1991b). Breland (1991), in Norway, reports 0-10 % yield reduction in treatments with intersown ryegrass.

In 1991 the different yields in treatments with and without ryegrass had largely levelled out, the main reason appearing seems to be a higher nitrogen delivery through mineralization from the earlier ploughed-in ryegrass. This favourable situation will probably increase with time.

Decreased yield following ryegrass as a catch crop as a result of lower access to N is also reported by Martinez & Guiraud (1990) and Jensen (1991a and 1991b). The results from this trial show that repeated use of ryegrass as a catch crop in the long run can give a positive nitrogen after-effect (cf. Stokholm, 1979) and increase the nitrogen delivery. This might cut the cost of nitrogen fertilizers to some extent.

The aim must be to combine the possibility given by the ryegrass to reduce the leaching magnitude with measures reducing the negative influence on the yield of the main crop:

- Reduction of competition from the ryegrass by changing the time of intersowing and the amount of seed has been suggested by Kvist (1992). In this investigation, the amount of seed was 7-9 kg/ha, but according to Kvist (1992) a decrease to 3 kg seems to be possible under certain circumstances.

- Development of a soil tillage and fertilization strategy which counteracts the mineral nitrogen deficit early in the spring after growing ryegrass as a catch crop. In this context, the influence of earlier ploughing-in of the catch crop in relation to time of spring-sowing ought to be tested.

Nitrogen and phosphorus recovery by the harvest and the utilization rate by the nitrogen fertilizer

The yield depression in the treatments with a catch crop involved decreased nitrogen recovery, calculated as the amount of nitrogen removed by the grain yield in relation to the amount of nitrogen application. The nitrogen recovery was lowest following autumn application of liquid manure in the autumn and after a double dose in the spring.

The yield level and the fertilization also influenced the corresponding phosphorus recovery. When using an excessively high liquid manure application, leading to decreased grain yield due to high N-supply, the phosphorus recovery was lower, as also was the case with low yield due to small nitrogen supply (unfertilized treatments). When the phosphorus conditions in the soil are acceptable, an excessively high application of liquid manure leads to unnecessary P-accumulation in the soil. The application of phosphorus needs to become adapted to the expected yield, for example by reducing the application rate of liquid manure and instead applying nitrogen in the form of commercial fertilizer if needed.

The utilization rate was higher for commercial fertilizer than for the ammonium fraction of the liquid manure. The reasons for this may be ammonia volatilization in connection with the application of liquid manure, denitrification, N-immobilization during decomposition of manure in the soil, and increased N-leaching after autumn application. There is a need for measures to reduce the losses and enable application at more favourable points of time. Such an alternative is the sledgehose spreader, making strip spreading of the liquid manure possible in growing crops in the spring with a very good utilization rate of the nitrogen (Rodhe & Salomon, 1992; Jakobsson & Lindén, 1993). Another possibility is subsurface application of the manure by a strip spreader.

Residual effect by the ryegrass

The yield decline in 1990 in treatments with catch crop may, among other things, be coupled to the first year memory effect of the ryegrass. Spring ploughing might in itself have affected growth of the crops. Lower yield and deteriorated nitrogen supply after ryegrass as a catch crop (during one preceding year) is reported by Martinez & Guiraud (1990) and Jensen (1991a and 1991b). The latter assigns N-immobilization as the cause. Berland (1989) reports an almost neutral influence on the yield of the following crop after ploughing-in the ryegrass the preceding autumn. Berland also reports that no significant net mobilization of nitrogen contributing to N-supply of the preceding crop can be expected after ploughing-in of a ryegrass catch crop in cases where ryegrass is cropped for a single year and ploughed-in during the autumn.

In the Mellby field trials, the N-supply of the main crop seems to have been most markedly influenced by the smaller mineral nitrogen amounts early in the spring due to the N-uptake by the ryegrass before the time of ploughing-in. But after some years the residual effect of the ryegrass seems to be an increased amount of nitrogen supply due to increased mineral N-delivery through mineralization from formerly incorporated crop residuals from the ryegrass. This has also led to a better crop harvest.

To improve a possibly diminished nitrogen supply in the soil following ploughing-in of ryegrass in the spring, a better soil tillage and fertilization strategy needs to be developed, and particularly if

ryegrass is grown only for single years. According to Jensen (1991a and 1991b), it was not possible to neutralize the negative influence caused by the ryegrass through increased nitrogen application up to 100 N kg/ha. This suggests, according to Jensen, that perhaps other processes than the nitrogen turnover in the soil play an important role. Beside soil tillage effects, creation of plant inhibitory substances may be a possible explanation. After single years of ryegrass there might be possibilities to counteract the negative N after-effect by ploughing as early as possible in the spring, or also late in the autumn. On clay soils, autumn ploughing is the only possible alternative. But, as has been reported by Breland (1989) and Wallgren & Lindén (1991), you cannot count on any particular N after-effect following ryegrass grown in a single year, not even following autumn ploughing.

Nitrogen uptake by the ryegrass

As a result of undersowing, the ryegrass was established when the main crop ripened and its N-uptake ceased. Thereby, the ryegrass could take up nitrogen from the soil in relation the nitrogen delivery by mineralization until late autumn.

The mineral nitrogen storage was kept on a very low level during the autumn and winter. Such an undersown catch crop must, in general, give a more reliable effect than a catch crop sown after harvest. After autumn sowing, often preceded by ploughing, which probably stimulates mineralization, it takes some time before a well-established root system has been developed. The stimulating effect of the soil cultivation also seems to remain for some time. However, during that period some mineralized nitrogen might be transported down through the soil profile and get lost.

Until mid-November the ryegrass took up, as a mean, 37 N kg/ha in standing crop (above ground), of which about 27 N kg/ha was taken up during the autumn. Supposing that the roots at this time had taken up 25 % of the total N-amount taken up by the crop (cf. Jensen, 1991a), the entire ryegrass crop ought to have taken up close to 50 N kg/ha. At most, the ryegrass produced 2700 kg d.m. per hectare until late autumn. Corresponding N-uptake was 90 kg/ha in the above-ground parts of the plant and including roots well over 100 kg. Jensen (1991a) reports a nitrogen uptake by the ryegrass of up to 60 N kg/ha until December on Sjaelland. Berland (1989) measured a N-uptake of 17-94 N kg/ha up to the time of autumn ploughing in southern Norway.

The growth and N-uptake seem largely to be connected with the availability of nitrogen in the soil during the autumn. A well-established ryegrass crop seems, therefore, to have a great potential to pick up nitrogen and therefore offers a good measure to utilize a fairly large amount of easily mobile nitrogen in the soil during the autumn.

Some N-uptake also takes place early in the spring while there is still a high risk of leaching. Also nitrogen uptake under milder winter conditions cannot be excluded. This was demonstrated very clearly when winter rye was grown as a catch crop in the field trial in 1988.

Influence of liquid manure on N-leaching

A moderate application of liquid manure in the spring combined with half the normal dose of commercial fertilizer gave as high a yield as a treatment with a normal dose of commercial fertilizer. The use of liquid manure seems to give an over-optimal nitrogen supply, with increased lodging and more mineral nitrogen present in the soil when the N-uptake ceased. This was avoided when a catch crop was used and leaching losses were kept on a low level.

On the other hand, the ryegrass was unable to pick up enough nitrogen to avoid the increased leaching losses after a double dose of liquid manure applied in the spring. Neither did the ryegrass succeed in eliminating the increased leaching losses following autumn application of liquid manure. Spring application of manure in moderate quantities, together with a catch crop, was always the best way of reducing the leaching losses to an acceptable level.

According to the law of "management of agricultural land" (SFS 1991:1295), manure can be applied during the autumn (1/8 - 30/11) in a growing crop or before autumn sowing. But the results

of this investigation show that in such cases the dose ought to be restricted, whereby the amount of ammonium nitrogen applied should not exceed the amount of nitrogen that can be taken up by the crop in addition to what is delivered by mineralization from the soil.

When calculating the available capacity of crop uptake when growing ryegrass as a catch crop, it may be considered that a fairly good crop might utilize 30-40 kg of ammonium nitrogen per hectare from the manure during the period from the harvest of the main crop until late autumn. When growing a winter crop, the same corresponding amount is only 10-15 N kg/ha up to the time of growing of side shoots (Lindén & Wallgren, 1988 ; Torstensson et al., 1992). The values presented assume that the manure is applied early in the autumn (in southern Sweden before the end of September); if applied later the uptake capacity will be lower. If autumn sowing follows the ploughing of a ley the nitrogen mineralization from crop residues will "consume" all available uptake capacity (Gustafson & Torstensson, 1988). The uptake capacity by winter rape is at the same or slightly higher level compared to the ryegrass (Lindén & Wallgren, 1990).

The drop in harvest in treatments with a catch crop in 1989 and 1990 was accompanied by lower nitrogen removal by harvested products, when at the same time the leaching losses were diminished. As less nitrate was present in the soil in the catch crop treatments during the cold period of the year, it was also very likely that the denitrification became smaller. This circumstance, together with the N-uptake by the ryegrass, indicates that storage of nitrogen in organic form has taken place in the soil. Such an enlarged nitrogen pool must, with time lead to an increasing N-mineralization. The increasing mineral nitrogen mobilization during the cropping season and on a yearly basis in the catch crop treatments indicates that this was the case.

In the treatment without nitrogen supply and without a catch crop, the nitrogen mineralization decreased with time compared to the treatment with commercial fertilizer. The diminished nitrogen leaching with time also indicates a lower nitrogen delivery from the soil in this treatment.

Repeated manure application of several years' standing enlarged the nitrogen delivery from the soil during the growing season compared to treatments only receiving commercial fertilizer. The results, however, also indicate that the yearly mineralization was not enlarged. This might be an effect of the calculation method chosen as it is difficult to believe that this result is correct. Probably not only the leaching losses have increased, but also the ammonia volatilization and/or denitrification.

It seems as if the stubble cultivation and the ploughing in the autumn have stimulated N-mobilization during the cold period of the year, which must have contributed to larger leaching in the treatments without a catch crop. In these treatments, the N-mineralization between the time of yellow ripening until the spring constituted more than half of the yearly mineralization. In relation to this, the unutilized mineral nitrogen at the time of yellow ripening in the normally fertilized treatments was too small to have more obviously contributed to the N-leaching. In the case of ryegrass and spring ploughing, the N-mineralization seems to have been delayed until the growing season. Thus, the catch crop treatments seem not only to decrease the nitrogen losses during the winter but also to make it possible to govern the nitrogen process in a way that the nitrogen is mobilized during the growing season when it is available for crop uptake.

This experiment has not dealt with the question whether it is possible to exclude autumn cultivation in order to avoid a mineral nitrogen accumulation in the autumn and instead get an enlarged N-mineralization during the cropping season following spring ploughing. It would be of great interest to conduct an investigation of that problem.

TILLKÄNNAGIVANDEN

Projektet har varit ett samarbetsprojekt mellan hushållningssällskapet i Hallands län och avdelningarna för vattenvårds- och växtnäringsslära vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Det redovisade försöket finansierades med medel från Jordbruksverket och Laholms kommun.

Erik Ekre och hans medarbetare på Tönnersa försöksgård har ansvarat för det praktiska försöksutförandet i fält. Förutom alla normala försöksmoment ute i fältet så har de tagit alla jord-, växt- och

vattenprover samt avläst och skött om mätutrustningen. Lantbrukare Bertil Bengtsson på Forslunds gård har välvilligt ställt försöksmarken till förfogande.

Börje Lindén vid avdelningen för växtnäringsslära vid SLU har ansvarat för all insamling, analysering och resultattolkning av jord-, gröd- och skördeprover samt kvävefertiliseringsberäkningarna. Han har även upprättat alla fältkort och detaljanvisningar för skötsel av grödorna samt mätningar och provtagningar på försöksrutorna. Analyserna av sådana prover har utförts av laboratoriepersonalen vid avdelningen för växtnäringsslära.

Avdelningen för vattenvårdsslära har haft ansvaret för utlakningsmätningarna. Gunnar Torstensson har ansvarat för mät- och registreringsutrustning. Det övergripande ansvaret för provinsamling, analyser, flödesmätningar och utlakningsberäkningar har Arne Gustafson haft. Alla vattenanalyser har utförts av personalen vid vattenvårdssläras laboratorium med Stefan Ekberg och Annelie Löthman som kärntrupp.

Utvärdering av försöksresultaten har gjorts gemensamt av författarna.

REFERENSER

- Breland, T.A. 1989. Soil organic carbon and nitrogen dynamics in grain cropping: Effects of undersown catch crops and green manuring. Doctor scientiarum theses 1989:3 Mikrobiologisk institutt, Norges landbrukshøgskole, Ås.
- Breland, T.A. 1991. Fangvekstar og grøngjødsling. I: Håndbok for jordbruket (ed. S. Skøien), 99. Landsbruksforlaget, Norge, 115-122.
- Brink, N. och Gustavsson, A. S. 1984. Förluster av växtnäring från sandjord. Ekohydrologi nr 17, 15-29. Avd. för vattenvårdsslära, Sveriges lantbruksuniversitet.
- DSH, 1989. Svensk havsresursverksamhet på 90-talet. Förslag till övergripande program (ÖGP-89). Delegationen för samordning av havsresursverksamhet, DSH 1989:2.
- Fleischer, S., Andreasson, I.-M., Holmgren, G., Joelsson, A., Kindt, T., Rydberg, L. och Stibe, L. 1989. Markanvändning och vattenkvalitet, En studie i Laholmsbuktens tillrinningsområde. Länsstyrelsen i Hallands län. Medd. 1989:10.
- Gustafson, A. & Torstensson, G. 1988. Växtnäringssläckage efter vallbrott. Ekohydrologi nr 26, 29-41.
- Hansson, A.-C., Pettersson, R. and Paustian, K. 1987. Shoot and root production and nitrogen uptake in barley, with and without nitrogen fertilization. Z. Acker Pflanzenb. 158, 163-171.
- Jakobsson, C. och Lindén, B. 1993. Kväveeffekter av stallgödsel på lerjordar. Rapport nr 190, Avdelningen för växtnäringsslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Jenkinson, D.S. 1981. The fate of plant and animal residues in soil. I: The chemistry of soil processes (ed. D.J. Greenland and M.H.B. Hayes). John Wiley & Sons Ltd.
- Jansson, S.L. 1966. Vart tar gödselkvävet vägen? Växtnäringssnytt 22, 3:1-9.
- Jensen, E.S. 1991a. Nitrogen accumulation and residual effects of nitrogen catch crops. Acta Agric. Scand. 41, 333-344.
- Jensen, E.S. 1991b. Efterafgrøder og kvælstof. Agrologisk tidsskrift om markbrug, nr. 11, 1991, 33-35.
- Jensen, E.S. 1992. The release and fate of nitrogen from catch-crop materials decomposing under field conditions. J. Soil Sci. 43, 335-345.

Joelsson, A. & Pettersson, O. 1982. Jordbruksdriften i södra Halland - inventering, analys av miljöeffekter, åtgärder. PM 1597, Statens naturvårdsverk, Solna.

Kvist, M. 1992. Catch crops undersown in spring barley - competitive effects and cropping methods. Crop Produktion Science 15. Institutionen för växtodlingslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Lindén, B. 1977. Utrustning för jordprovtagning i åkermark. Rapport nr 112, Avdelningen för växtnäringsslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Lindén, B. 1979. Alvprovtagning med "Ultuna-borren" - för markkartering och framtida N-prognoser. Rapport nr 120, Avdelningen för växtnäringsslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Lindén, B. 1982. Ammonium- och nitratkvävetts rörelser och fördelning i marken. III. Inverkan av nederbördsförhållanden och vattentillgång. Studier i modell- och ramförsök. Rapport nr 143. Avdelningen för växtnäringsslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Lindén, B. 1983. Det atmosfäriska nedfallets och kvävemineraliseringens bidrag till grödornas N-försörjning. I: Kväveprognos - lägesbeskrivning och inriktning framöver. Rapport nr 6, Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, 41-59.

Lindén, B. 1987. Kvävemineralisering vid olika driftsformer - djurhållningens och stallgödsetts inverkan. NJF-seminarium nr 113 "Husdyrgjødslas virkninger på jord og avling". NJF-utredning/rapport nr 39, 78-94.

Lindén, B. & Wallgren, B. 1988. Kväveanrikning på träda - utlakningsrisker och motåtgärder. I: Lantbrukskonferensen 1988, Konsulentavdelningen, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, Allmänt 136, 139-151.

Lindén, B. & Wallgren, B. 1990. Vallbrott - kväveutlakningsrisker och kväveefterverkan. Fakta, Mark/växter, nr 3, 1990. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Maag, M. 1989. Denitrification losses from soil receiving pig slurry or fertilizer. I: Nitrogen in organic wastes applied to soils (ed. J. Aa. Hansen & K. Henriksen). Academic Press, London, 235-246.

Martinez, J. & Guiraud, G. 1990. A lysimeter study of the effects of a ryegrass catch crop, during a winter wheat/maize rotation, on nitrate leaching and on the following crop. J. Soil Sci. 41, 5-16.

NATUR'90 1990. Aktionsprogram för naturvård. SNV, Solna.

Olsson, P.-I. 1985. Stallgödsettskvävetts växttillgänglighet. Försöksverksamheten i sockerbetor 1984. Sockernäringens samarbetskommitté 1985, 91-112.

Olsson, R. 1986. Flytgödsetts inverkan på kvävemineraliseringen och sockerbetornas kväve-upptagning. Försöksverksamheten i sockerbetor 1985. Sockernäringens samarbetskommitté 1986, 44-54.

Paul, J.W. & Beauchamp, E.G. 1989. Biochemical changes in soil beneath a dairy cattle slurry layer: The effect of volatile fatty acid oxidation on denitrification and soil pH. I: Nitrogen in organic wastes applied to soils (ed. J. Aa. Hansen & K. Henriksen). Academic Press, London, 261-270.

Rodhe, L. & Salomon, E. 1992. Spridning av flytgödset i stråsäd. JTI-rapport 139, Jordbruks-tekniska institutet, Uppsala.

Rosenberg, R., Elmgren, R., Fleischer, S., Jonsson, P., Persson, G. and Dahlin, H. 1990. Marine Eutrophication Case Studies in Sweden. Ambio, Vol. 19, No. 3, p. 102-108.

- Statens jordbruksverks författningssamling (SJVFS) 1991. Statens jordbruksverks föreskrifter om odling på höst- och vinterbevuxen åkermark. SJVFS 1991:72, sak nr U 170.
- Statens författningssamling (SFS) 1991. Förordning (1979:426) om skötsel av jordbruksmark. SFS 1991:1295.
- Stokholm, E. 1979. Grøngødningens indflydelse på udbytte og jordstruktur. Tidsskrift for Planteavl 83, 543-549.
- Torstensson, G., Gustafson, A., Lindén, B. och Skyggesson G. 1992. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning på en grovmojord med handels- och stallgödslade odlingssystem i södra Halland. Ekohydrologi nr 28. Avdelningen för vattenvård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Ulén B. 1984. Påverkan på yt-, dränerings- och grundvatten vid Ekenäs. Ekohydrologi nr 18. Avdelningen för vattenvård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Voelcker, J.A. & Hall, A.D. 1903. Valuation of unexhausted manures obtained by the consumption of foods by stock. J. R. Agric. Soc. Engl. 63, 76-114.
- Wallgren, B. & Lindén, B. 1991. Residual nitrogen effects of green manure crops and fallow. Swedish J. agric. Res. 21, 67-77.

- | Nr | År | Författare och titel. <i>Author and title.</i> |
|----|------|---|
| 18 | 1984 | Barbro Ulén. Påverkan på yt-, dränerings- och grundvatten vid Ekenäs. <i>Influence on surface water, drainage water and groundwater at Ekenäs.</i>

Barbro Ulén. Nitrogen and phosphorus to surface water from crop residues. |
| 19 | 1985 | Arne Gustavsson och Nils Brink. Förluster av kväve och fosfor runt Ringsjön. <i>Losses of Nitrogen and Phosphorus in the Ringsjö Area.</i>

Nils Brink och Kjell Ivarsson. Förluster av växtnäring från lerjordar i Skåne. <i>Losses of Nutrients from Clay Soils in Skåne.</i>

Arne Gustavsson, Berit Tomassen och Björn Wiksten. Växtnäringsförluster från åker på Uppsalaslätten. <i>Nutrient Losses from Arable Land in the Region of Uppsala.</i>

Christina Lindgren, Margaretha Wahlberg och Arne Gustavsson. Dricksvattenkvalitet i Uppsalaregionen. <i>Drinking Water Quality in the Region of Uppsala.</i>

Jenny Kreuger. Rörlighet hos MCPA och diklorprop. <i>Mobility of MCPA and Dichlorprop.</i>

Barbro Ulén. Ytavrinningsförluster av cyanazin. <i>Losses with Surface Run-off of Cyanazine.</i> |
| 20 | 1985 | Jenny Kreuger. Rörlighet hos MCPA och diklorprop på sandjord. <i>Mobility of MCPA and Dichlorprop in a Sandy Soil.</i>

Kjell Ivarsson och Nils Brink. Utlakning från en grovmojord i Halland. <i>Losses of Nutrients from a Sandy Soil in Halland.</i>

Barbro Ulén. Åkermarkens erosion. <i>Erosion of Phosphorus from Arable Land.</i>

Arne S. Gustavsson. Förluster av kväve och fosfor runt Ringsjön.

Arne Gustafson. Växtnäringsläckage och motåtgärder.

Nils Brink. Bekämpningsmedel i åar och grundvatten. |
| 21 | 1986 | Birgit Loeper. Toxicitetstest för pesticider med protozoer. <i>Toxicity Test for Pesticides using Protozoa.</i>

Nils Brink, Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Odlingsåtgärders inverkan på kvalitet hos yt- och grundvatten.

Barbro Ulén. Lakning av fosfor ur jordar. <i>Leaching of Phosphorus from Soils.</i>

Nils Brink och Gunnar Torstensson. Vådan av proteingödsling. Värdera miljön. <i>Risk of Fertilizing for Increased Protein. Evaluate the Environment.</i>

Jenny Kreuger. Bekämpningsmedel. Utlakning från åkermark. |
| 22 | 1987 | Arne Gustafson. Water Discharge and Leaching of Nitrate. |
| 23 | 1987 | Lars Bergström. Transport and Transformations of Nitrogen in an Arable Soil. |

- | Nr | År | Författare och titel. <i>Author and title.</i> |
|----|------|--|
| 24 | 1987 | <p>Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Fånggröda efter skörd. <i>Catch crop after harvest.</i></p> <p>Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Läckage av växtnäring från åker i Nybroåns vattensystem. <i>Leaching av Nutrients from Arable Land in the Nybroån River Basin.</i></p> <p>Solweig Ellström och Nils Brink. Stallgödsblad och konstgödsblad åker läcker växtnäring. <i>Fields spread with Manure and Fertilizer leach Plant Nutrients.</i></p> <p>Nils Brink. Kväveläckage vid försök med nitrifikationshämmare.</p> <p>Nils Brink. Kväve och fosfor från stallgödsblad åker.</p> <p>Nils Brink. Kväve och fosfor från konstgödsblad åker.</p> |
| 25 | 1987 | <p>Nils Brink och Klaas van der Meulen. Losses of Phosphorus and Nitrogen to Lake Ringsjön.</p> <p>Nils Brink. Regional vattenundersökning söder och öster om Ringsjön. <i>Water nutrient status to the south and east of Lake Ringsjön.</i></p> <p>Petra Fagerholm. Vattenkvalitet och jordbruksdrift inom Ringsjöområdet. <i>Water quality and agricultur in the area of Lake Ringsjön.</i></p> <p>Nils Brink. Nitrifikationshämmare eller svält mot kväveläckage. <i>Nitrification inhibitors or starvation against nitrogen losses.</i></p> <p>Nils Brink, Jenny Kreuger och Gunnar Torstensson. Näringsflöden från åkermark. <i>Nutrient fluxes from arable land.</i></p> |
| 26 | 1988 | <p>Arne Andersson och Arne Gustafson. Deposition av spårelement med nederbörden. <i>Bulk deposition of trace elements in precipitation.</i></p> <p>Arne Andersson, Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Utlakning av spårelement från odlad jord. <i>Removal of trace elements from arable land by leaching.</i></p> <p>Barbro Ulén. Fosforerosion vid vallodling och skyddszon med gräs. <i>Phosphorus erosion under ley cropping and a grass protective zone.</i></p> <p>Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsläckage efter vallbrott. <i>Leaching of nutrients after ploughing a ley.</i></p> <p>Solweig Ellström. Avrinning och växtnäringsstransport från åkermark. <i>Discharge and losses of nutrients from arable land.</i></p> |
| 27 | 1990 | <p>Lisbet Lewan. Insådd fånggröda: Effekter på utlakning av växtnäringsämnen. <i>Undersown Catch Crop - Effects on leaching of plant nutrients.</i></p> <p>Lisbet Lewan och Holger Johnsson. Insådd fånggröda: Effekter på utlakning av kväve. <i>Undersown Catch Crops - Effects on Leaching of Nitrogen.</i></p> <p>Solweig Wall Ellström. Avrinning och växtnäringsförluster från JRK:s stationsnät på åkermark. <i>Discharge and nutrient losses from arable land.</i></p> |
| 28 | 1992 | <p>Gunnar Torstensson, Arne Gustafson, Börje Lindén och Gustav Skyggesson. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning på en grovmojord med handels- och stallgödsblade odlingssystem i södra Halland.</p> |

Nr	År	Författare och titel. <i>Author and title.</i>
29	1992	<p>Barbro Ulén. Närsaltsförluster från mindre avrinningsområden inom jordbrukets recipientkontroll i Sverige. <i>Nutrient losses from small catchment areas in the recipient control of agriculture in Sweden.</i></p> <p>Markus Hoffman. Avrinning och växtnäringsförluster från JRK:s stationsnät agrohydrologiska året 90/91 samt långtidsöversikt för 1977/90. <i>Discharge and nutrient losses from arable land in 1990/91 and review of the years 1977/90.</i></p> <p>Markus Hoffman. Odlingsåtgärder och vattenkvalitet - en studie på sju fält i Malmöhus län. <i>Cultivation practices and water quality - a study on seven fields in Malmöhus county.</i></p>

Denna serie efterträder den åren 1970–1977 utgivna serien Vattenvård. Här publiceras forsknings- och försöksresultat från avdelningen för vattenvård vid institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. Serien Vattenvård redovisas i Ekohydrologi nr 1–6. Tidigare nummer i serien Ekohydrologi redovisas nedan. Alla kan i mån av tillgång anskaffas från avdelningen för vattenvård (adress nedan).

This series is a successor to Vattenvård published in 1970–1977. Here you will find research reports from the Division of Water Management at the Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences. The Vattenvård series is listed in Ekohydrologi 1–6. You will find earlier issues of Ekohydrologi listed below. Issues still in stock can be acquired from the Division of Water Management (address, see below).

Nr År Författare och titel. Author and title.

- 1 1978 Nils Brink, Arne Gustafson och Gösta Persson. Förluster av växtnäring från åker. *Losses of nutrients from arable land.*
- 2 1978 Nils Brink och Arne Joelsson. Stallgödsel på villovägar. *Manure gone astray.*
Nils Brink. Kväveutlakning från odlingsmark. *Nitrogen leaching from arable land.*
- 3 1979 Sven-Åke Heinemo och Nils Brink. Utlakning ur kompost av sopor och slam. *Leachate from compost of refuse and sludge.*
Nils Brink. Self-purification studies of silage juice.
Arne Gustafson och Mats Hansson. Växtnäringsläckage på Kristianstadsslätten. *Loss of nutrients on the Kristianstad Plain.*
Per-Gunnar Sundqvist och Nils Brink. En gödselstad förorenar dricksvatten. *Pollution of the Groundwater by a Dung Yard.*
- 4 1979 Nils Brink. Vattnet är det yppersta.
Arne Gustafson och Börje Lindén. Kvävebehovet för 1979.
Nils Brink, Arne Gustafson och Gösta Persson. Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. *Losses of nitrogen, phosphorus and potassium from arable land.*
- 5 1979 Gunnar Fryk och Sven-Åke Heinemo. Självrening av lakvatten från kompost på sand och mo. *Self-purification of leachate from compost on sand and fine sand.*
Nils Brink. Växtnäringsförluster från skogsmark. *Losses of Nutrients from Forests.*
Nils Brink. Utlakning av kväve från agroecosystem. *Leaching of nitrogen from agro-ecosystems.*
Nils Brink. Ytvatten, grundvatten och vattenförsörjningen.
- 6 1980 Arne Gustafson och Mats Hansson. Växtnäringsförluster i Skåne och Halland. *Losses of nutrients in Skåne and Halland.*
Nils Brink, Sven L. Jansson och Staffan Steineck. Utlakning efter spridning av potatisfruktsaft. *Leaching after Spreading of Potato Juice.*
Nils Brink och Arne Gustafson. Att spå om gödselkväve. *Forecasting the need of fertilizer nitrogen.*
Arne Gustafson och Börje Lindén. Lantbruksuniversitetet satsar på exaktare kvävegödsling.
- 7 1980 Nils Brink och Börje Lindén. Vart tar handelsgödselkvävet vägen. *Where does the commercial fertilizer go.*
Barbro Ulén och Nils Brink. Omgivningens betydelse för primärproduktionen i Vadsbrosjön. *The importance of the environment for the primary production in Lake Vadsbro.*
Arne Gustafson. Jordbruket och grundvattnet.
Nils Brink. Utlakningen av växtnäring från åkermark.
Nils Brink. Vart tar gödseln vägen.
- 8 1981 Nils Brink. Försurning av grundvatten på åker. *Acidification of Groundwater on arable land.*
Rikard Jernlås och Per Klingspor. TCA-utlakning från åker. *Leaching of TCA from arable land.*
Arne Joelsson. Ytavspolning av fosfor från åkermark. *Storm Washing of Phosphorus from Arable Land.*
Arne Gustafson, Sven-Olof Ryding och Barbro Ulén. Kontroll av växtnäringsläckage från åker och skog. *Control of losses of nutrients from arable land and forest.*
- 9 1981 Barbro Ulén och Nils Brink. Miljöeffekter av ureaspridning och glykolanvändning på en flygplats. *Environmental effects of spreading of urea and use of glycol at an airport.*
Gunnar Fryk. Utlakning från upplag av malda sopor. *Leachate from piles of shredded refuse.*
- 10 1982 Arne Gustafson och Arne S. Gustavsson. Växtnäringsförluster i Västergötland och Östergötland. *Losses of nutrients in Västergötland and Östergötland.*
Barbro Ulén. Växtnäringsförluster från åker och skog i Södermanland. *Losses of nutrients from arable land and forests in Södermanland.*
Arne S. Gustavsson och Barbro Ulén. Nitrat, nitrit och pH i dricksvatten i Västergötland, Östergötland och Södermanland. *Nitrate, nitrite and pH in drinking water in Västergötland.*
- Östergötland and Södermanland.
Lennart Mattsson och Nils Brink. Gödslingsprognoser för kväve. *Fertilizer forecasts.*
- 11 1982 Barbro Ulén. Vadsbrosjöns närsaltsbelastning och trofinivå. *The nutrient load and trophic level of Lake Vadsbro.*
Arne Andersson och Arne Gustafson. Metallhalter i dräneringsvatten från odlad mark. *Metal contents in drainage water from cultivated soils.*
Arne Gustafson. Växtnäringsförluster från åkermark i Sverige.
Barbro Ulén. Erosion av fosfor från åker. *Erosion of phosphorus from arable land.*
Rikard Jernlås. Kväveutlakningens förändring vid reducerad gödsling.
- 12 1982 Nils Brink och Rikard Jernlås. Utlakning vid spridning höst och vår av flytgödsel. *Leaching after spreading of liquid manure in autumn and spring.*
Gunnar Fryk och Thord Ohlsson. Infiltration av lakvatten från malda sopor. *Leachate migration through soils.*
Nils Brink. Measurement of mass transport from arable land in Sweden.
Arne Gustafson. Leaching of nitrate from arable land into groundwater in Sweden.
- 13 1983 Nils Brink, Arne S. Gustavsson och Barbro Ulén. Yttransport av växtnäring från stallgödselad åker. *Surface transport of plant nutrient from field spread with manure.*
Rikard Jernlås. TCA-utlakning på lerjord. *Leaching of TCA on a clay soil.*
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster vid Öjebyn. *Losses of nutrients at Öjebyn.*
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster vid Röbbäcksdalen. *Losses of nutrients at Röbbäcksdalen.*
Rikard Jernlås och Per Klingspor. Nitratutlakning och bevattning. *Drainage losses of nitrate and irrigation.*
- 14 1983 Arne Gustafson, Lars Bergström, Tomas Rydberg och Gunnar Torstensson. Kväve mineralisering vid plöjningsfri odling. *Nitrogen mineralization in connection with non-ploughing practices.*
Rikard Jernlås. Rörlighet och nedbrytning av fenvalerat i lerjord. *Decomposition and mobility of fenvalerate in a clay soil.*
Nils Brink. Jordprov på hösten eller våren för N-prognoser. *Soil sampling for nitrogen forecasts.*
Nils Brink. Närsalter och organiska ämnen från åker och skog. *Nutrients and organic matters from farmland and woodland.*
Nils Brink. Gödselanvändningens miljöproblem.
- 15 1984 Nils Brink, Arne S. Gustavsson och Barbro Ulén. Växtnäringsförluster runt Ringsjön. *Nutrient losses in the Ringsjö area.*
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Fånggröda efter korn. *Catch crop after barley.*
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster från åker i Nybroåns avrinningsområde. *Losses of nutrients from arable land in the Nybroån river basin.*
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster i Vagle. *Losses of nutrients at Vagle.*
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster i Offer. *Losses of nutrients at Offer.*
- 16 1984 Arne Gustafson, Arne S. Gustavsson och Gunnar Torstensson. Intensitet och varaktighet hos avrinning från åkermark. *Intensity and duration of drainage discharge from arable land.*
- 17 1984 Jenny Kreuger och Nils Brink. Fånggröda och delad giva vid potatisodling. *Catch crop and divided N-fertilizing when growing potatoes.*
Nils Brink och Arne Gustavsson. Förluster av växtnäring från sandjord. *Losses of nutrients from sandy soils.*
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster i Boda. *Losses of nutrients at Boda.*
Nils Brink. Vattenföroreningar från tippen i Erstorp – ett rättsfall.

Distribution:

Pris: 35:- (exkl.moms)

Avdelningen för vattenvårdslära
Box 7072
750 07 UPPSALA, Sweden

Tel 018-67 24 60